



**TUGAS AKHIR - MO 141326**

# **ANALISA TENSION PADA BAGIAN UJUNG ATAS RISER AKIBAT VORTEX INDUCED VIBRATION (VIV)**

**ACHMAD AFIF WIJAYANTO**

**NRP. 4312100032**

**Dosen Pembimbing**

**Yoyok Setyo Hadiwidodo, ST,MT, Ph.D**

**Dr. Eng. Rudi Walujo Prastianto, S.T. ,M.T.**

**JURUSAN TEKNIK KELAUTAN  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2016**



FINAL PROJECT - MO 141326

## TOP TENSION ANALYSIS OF RAISER DUE TO VORTEX INDUCED VIBRATION (VIV)

ACHMAD AFIF WIJAYANTO

NRP. 4312100032

Supervisors:

Yoyok Setyo Hadiwidodo, ST,MT, Ph.D

Dr. Eng. Rudi Walujo Prastianto, S.T. ,M.T.

DEPARTEMENT OF OCEAN ENGINEERING

Faculty of Marine Technology

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2016

## HALAMAN PENGESAHAN



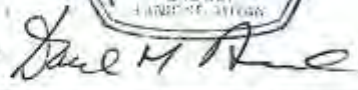
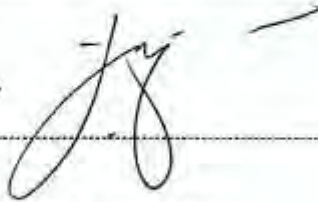
### ANALISA TENSION PADA BAGIAN UJUNG ATAS RISER AKIBAT VORTEX INDUCED VIBRATION (VIV)

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada Progran Studi S-1 Jurusan Teknik Kelautan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**ACHMAD AFIF WIJAYANTO**  
**NRP. 4312100032**

Disetujui oleh :

1. Yoyok Setyo Hadiwidodo, S.T., M.T., Ph.D. (Pembimbing 1)  

2. Dr. Eng. Rudi Walujo Prastianto, S.T. (Pembimbing 2)  

3. Prof. Ir. Daniel M. Rosyid, Ph.D. (Penguji 1)  

4. Dr. Ir. Hasan Ikhwani, M.Sc. (Penguji 2)  


SURABAYA, JULI 2016

# ANALISA TENSION PADA BAGIAN UJUNG ATAS RISER AKIBAT VORTEX INDUCED VIBRATION (VIV)

Nama : ACHMAD AFIF WIJAYANTO  
NRP : 4312100032  
Jurusan : Teknik Kelautan FTK - ITS  
Dosen Pembimbing : Yoyok Setyo Hadiwidodo, ST,MT, Ph.D  
Dr. Eng. Rudi Walujo Prastianto, S.T. ,M.T

## ABSTRAK

Pada tugas akhir ini membahas tentang analisa top tension pada ujung atas *long riser* yang memiliki sifat fleksibel. Biasanya *riser* jenis ini digunakan pada bangunan lepas pantai jenis *tension leg platform* (TLP). Data *riser* yang dipakai adalah data model *riser* milik Huarte;2006 yang digunakan dalam tesisnya. Analisa akan dilakukan menggunakan penghitungan manual dengan menggunakan persamaan yang ada pada jurnal Jijun Gu et al mengenai “Analytical solution of mean top tension of long flexible riser in modelling vortex-induced vibration” dan menggunakan analisa numerik *software orcaflex 9.2a*. hasil penghitungannya akan divalidasi dengan data hasil eksperimen milik Huarte. Variasi yang digunakan pada analisa *top tension* ini adalah variasi *initial tension* ( $T_{int}$ ) dan kecepatan arus ( $U$ ). ada 4 variasi *initial tension* ( $T_{int}$ ) yaitu 810 N, 1172 N, 1538 N dan 1922 N. sedangkan untuk variasi kecepatan arus ( $U$ ) adalah 0,05 m/s ; 0,1 m/s ; 0,15 m/s ; 0,2 m/s ; 0,25 m/s ; 0,3 m/s ; 0,35 m/s ; 0,4 m/s ; 0,45 m/s ; 0,5 m/s ; 0,55 m/s ; 0,6 m/s ; 0,65 m/s ; 0,7 m/s ; 0,75 m/s ; 0,8 m/s ; 0,85 m/s ; 0,9 m/s ; 0,95 m/s ; 1 m/s. Nilai *top tension* yang di dapat akan dibandingkan dengan *reduced velocity* ( $V_t$ ) untuk setiap kecepatan arus ( $U$ ) yang sama. Dari penghitungan yang telah dilakukan pada tugas akhir ini didapatkan besarnya top tension pada setiap variasi adalah Untuk *initial tension* 810 N nilai top tension adalah antara 810,00 N sampai 1263,04 N (manual) dan 803,79N sampai 1335,43 N (numerik). Untuk *initial tension* 1172 N nilai top tension adalah antara 1176,98 N sampai 1540,97 N (manual) dan 1096,39 N sampai 1559,743 N (numerik). Untuk *initial tension* 1538 N nilai top tension adalah antara 1539,99 N sampai 1841,22N (manual) dan 1530,91 N sampai 1865,071 N (numerik). Untuk *initial tension* 1922 N nilai top tension adalah antara 1922,002 N sampai 2176,65 N (manual) dan 1915,017N sampai 12203,15 N (numerik). sedangkan dari grafik perbandingan antara *top tension* dan *reduced velocity* ( $V_t$ ) dari 3 metode yang dipakai memiliki trend yang sama dan dapat dikatakan bahwa metode yang dipakai telah tervalidasi. Besarnya nilai *top tension* dengan menggunakan *software orcaflex 9.2a* cenderung lebih kecil dibandingkan dengan nilai *top tension* dengan menggunakan metode eksperimen dan manual. Beberapa hal yang mempengaruhi hal tersebut adalah nilai frekuensi natural ( $f_n$ ) pada model eksperimen yang tidak pasti, lingkuan pengujian eksperimen dan model long riser pada *software orcaflex 9.2a*.

Kata Kunci : *riser, top tension, orcaflex 9.2a, reduced velocity*

# **TOP TENSION ANALYSIS OF RAISER DUE TO VORTEX INDUCED VIBRATION (VIV)**

**Name** : ACHMAD AFIF WIJAYANTO  
**Rer. Number** : 4312100032  
**Departement** : Teknik Kelautan FTK - ITS  
**Supervisors** : Yoyok Setyo Hadiwidodo, ST,MT, Ph.D  
Dr. Eng. Rudi Walujo Prastianto, S.T. ,M.T

## **ABSTRACT**

This final assignment will contain top tension analysis on a flexible long riser. Riser with this type usually used on Tension Leg Platform (TLP). Riser data used in this assignment is Huarte's (2006) riser model data as appears on his thesis. Analysis will be performed with manual calculation using equations on Jijun Gu et al journal titled "Analytical solution of mean top tension of long flexible riser in modelling vortex-induced vibration" and orcaflex 9.2a software and the results will be validated with Huarte's (2006) experiment result data and manual calculation on the journal mentioned previously. Variations used on this top tension analysis are initial tension variation ( $T_{int}$ ) and current velocity ( $U$ ). There are 4 variation of initial tension ( $T_{int}$ ) which are 810 N, 1172 N, 1538 N and 1922 N while for current velocity ( $U$ ) there are 0,05 m/s ; 0,1 m/s ; 0,15 m/s ; 0,2 m/s ; 0,25 m/s ; 0,3 m/s ; 0,35 m/s ; 0,4 m/s ; 0,45 m/s ; 0,5 m/s ; 0,55 m/s ; 0,6 m/s ; 0,65 m/s ; 0,7 m/s ; 0,75 m/s ; 0,8 m/s ; 0,85 m/s ; 0,9 m/s ; 0,95 m/s ; 1 m/s. top tension value will be compared with reduced velocity ( $V_t$ ) for each value of current velocity ( $U$ ). Calculations on this final assignment shows that Mean top tension values are between 810, N until 1263,04 N (analytical) and 803,79 N until 1335,43 N (numerical) for every  $T_{int} = 810$  N top tension variations; Mean top tension values are between 1176,98 N until 1540,97 N (analytical) and between 1176,98 until 1335,43 N (numerical) for every  $T_{int} = 1172$  N top tension variations; Mean top tension values are between 1539,99 N and 1841,22 N (analytical) and between 1130,91 until 1865,071 N (numerical) for every  $T_{int} = 1538$  N top tension variations; Mean top tension values are between 1922,002 N and 2176,65 N and between 1915,017 until 2203,15 N (numerical) for every  $T_{int} = 1922$  N top tension variations. Meanwhile from the comparison graph between top tension and reduced velocity ( $V_t$ ) from three used methods have same trendline that proves the methods are valid. Top tension values acquired from Orcaflex 9.2a software tend to be smaller than the values acquired experiment and manual method. Some factor that can affect the difference of the results are changing natural frequency ( $f_n$ ) value on experiment model, experiment environment, and long riser model on Orcaflex 9.2a software.

**Keyword** : *riser, top tension, orcaflex 9.2a., reduced velocity*

10) Serta Pihak-pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu.

Semoga seluruh bimbingan, dukungan dan arahan yang telah diberikan kepada penulis mendapatkan balasan yan berlipat ganda dari Allah SWT. *Aamiin*

Achmad Afif Wijayanto

# DAFTAR ISI

HALAM JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
ABSTRAK .....	iv
ABSTRACT .....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
UCAPAN TERIMA KASIH .....	vii
DAFTAR ISI .....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL .....	xiii
DAFTAR LAMPIRA .....	xiv
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang Masalah .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan .....	3
1.4 Manfaat .....	3
1.5 Batasan Masalah .....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI.....	5
2.1 Tinjauan Pustaka.....	5
2.2 Dasar Teori .....	6
2.2.1 <i>Riser</i> .....	6
2.2.1.1 Mekanika Bahan.....	7
2.2.2 <i>Vortex Induced Vibration (VIV)</i> .....	10
2.2.3 <i>Parameter penting dalam analisa vortex shedding</i> .....	16
2.2.4 <i>Parameter penting dalam analisa vortex induced vibration (VIV)</i> .....	17
2.2.5 <i>Aliran Akibat Vortex</i> .....	19
2.2.6 <i>Top Tension Analytical</i> .....	23
2.2.7 <i>Vibration of a Tensioned Beam</i> .....	28
2.2.8 <i>Time Domain Analytical</i> .....	30
2.2.9 <i>Fast Furier Transform (FFT)</i> .....	31
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN .....	35
3.1 Diagram Alir .....	35
3.2 Penjelasan Diagram Alir .....	36

BAB 4 ANALISA DAN PEMBAHASAN .....	41
4.1 Analisa Data.....	41
4.2 Penghitungan Manual .....	41
4.3 Permodelan Struktur <i>Riser</i> .....	48
4.4 Analisa <i>Time Domain</i> .....	51
4.5 <i>Fast Furier Transform (FFT)</i> .....	53
4.6 Analisa <i>Output Orcalflex 9.2a</i> .....	54
4.7 Analisa getaran pada <i>riser</i> .....	64
BAB 5 PENUTUP .....	68
5.1 Kesimpulan .....	68
5.2 Saran .....	70
DAFTAR PUSTAKA.....	71
LAMPIRAN .....	73
BIODATA PENULIS .....	244



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 <i>flexible riser</i> .....	2
Gambar 2.1 Konfigurasi riser tension leg platform (TLP) .....	6
Gambar 2.2 <i>riser configuration</i> .....	8
Gambar 2.3 <i>benda uji tarik</i> .....	9
Gambar 2.4 tegangan dalam 2 dimensi .....	11
Gambar 2.5 Proses pembentukan vortex, .....	12
Gambar 2.6 Aliran setelah melewati silinder halus dalam arus <i>steady</i> .....	13
Gambar 2.7 Sketsa definisi .....	14
Gambar 2.8 Penampakan dari vortex shedding dibagian belakang silinder dalam steam oil dengan kenaikan nilai $Re$ .....	15
Gambar 2.9 konfigurasi gaya list dan gaya drag pada silinder .....	16
Gambar 2.10 Force time trace gaya drag .....	17
Gambar 2.11 Force time trace gaya lift .....	18
Gambar 2.12 <i>strouhal number</i> ( $St$ ) pada silinder dengan permukaan halus dengan <i>reynold number</i> ( $Re$ ) .....	19
Gambar 2.13 <i>environmental action</i> .....	20
Gambar 2.14 Pola aliran in-line dan cross-flow disekitar silinder .....	20
Gambar 2.15 surface roughness terhadap frekuensi vortex shedding .....	22
Gambar 2.16 tipikal amplitude response terhadap reduced velocity .....	23
Gambar 2.17 Komponen dalam disain <i>riser</i> .....	24
Gambar 2.18 Flexible cylinder motion trajectories .....	25
Gambar 2.19 Simbolisasi pin joint .....	26
Gambar 2.20 Simbolisasi rol joint .....	27
Gambar 2.21 Simbolisasi fixed joint .....	28
Gambar 2.22 Konfigurasi pembebanan riser .....	29
Gambar 2.23 <i>riser axes</i> .....	30
Gambar 2.24 Grafik time domain .....	31
Gambar 2.25 Gelombang acak terbentuk dari superposisi gelombang-gelombang regular dalam jumlah tak berhingga. ....	33
Gambar 2.26 Grafik FFT (fast furier transform). ....	34
Gambar 3.1 Diagram alir tugas akhir .....	36

Gambar 3.2 Permodelan <i>riser</i> yang akan dianalisis .....	38
Gambar 3.3 <i>riser</i> detail .....	39
Gambar 4.1 Grafik perbandingan hasil penghitungan manual dengan nilai pada jurnal untuk setiap variasi top tension (810 N, 1175 N, 1538 N, 1922 N). .....	46
Gambar 4.2 Diameter permodelan struktur <i>riser</i> .. .....	48
Gambar 4.3: Grafik perbandingan nilai top tension dengan jumlah elemen (mesh).....	49
Gambar 4.4 Permodelan <i>long riser</i> pada <i>software Orcaflex 9.2a</i> . .....	50
Gambar 4.5 Posisi <i>riser</i> setelah dilakukan <i>running statis dan dinamis</i> untuk; $T_{int} = 1538 \text{ N}$ , $u = 0,55 \text{ m/s}$ .....	
Gambar 4.6 Grafik output time domain <i>orcafex 9.2a</i> untuk a). $T_{int}=1538 \text{ N}$ , $V_r= 28,06$ dan $t= 5000 \text{ s}$ ; b) $T_{int}=1922 \text{ N}$ , $V_r= 12.76$ dan $t= 10000 \text{ s}$ .....	50
Gambar 4.7 Grafik fast furier transform (FFT) untuk a) $T_{int}=1538 \text{ N}$ , $V_r= 28,06$ dan $t= 5000 \text{ s}$ ; b) $T_{int}=1922 \text{ N}$ , $V_r= 12.76$ dan $t= 10000 \text{ s}$ .....	51
Gambar 4.8 Grafik perbandingan antara hasil penghitungan <i>mean top tension manual</i> , <i>ekperimen</i> dan <i>software orcafex 9.2a</i> .....	58

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 data model <i>flexible riser</i> dan parameter eksperiment.....	35
Tabel 4.1 frekuensi natural dengan menggunakan metode eksperimen (Huarte,2006).....	41
Tabel 4.2 frekuensi natural dengan menggunakan metode FEM (Huarte,2006).....	41
Tabel 4.3 Nilai <i>top tension</i> pada setiap variasi <i>initial tesion</i> . ....	42
Tabel 4.4 Hasil output running orcalex 9.2a pada model riser untuk $T_{int}=1538\text{ N}$ , $V_r=28,06$ dan $t=5000\text{ s}$ . ....	53
Tabel 4.5 Hasil output running orcalex 9.2a pada model riser untuk $T_{int} = 1538\text{ N}$ pada setiap variasi kecepatan arus ( $u$ ). ....	54
Tabel 4.6 Tabel output effective tension pada software orcaflex 9.2a a) $T_{int}=1538\text{ N}$ , $V_r=28,06$ dan $t=5000\text{ s}$ . ....	55
Tabel 4.7 Hasil output running mean effective tension orcalex 9.2a untuk setiap variasi initial tension( $T_{int}$ ) dan kecepatan arus ( $U$ ). ....	56
Tabel 4.8 Nilai periode natural ( $T_{pn}$ ) dan frekuensi natural ( $f_n$ ) dengan variasi penurunan nilai Inersia ( $I$ ). ....	62
Tabel 4.9 Nilai <i>mean top tension</i> dengan variasi penurunan nilai Inersia ( $I$ ). ....	63

## DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A : TABEL GRAFIK HASIL PENGHITUNGAN MANUAL <i>MEAN TOP TENSION</i> .....	75
LAMPIRAN B : GRAFIK <i>OUTPUT TIME DOMAIN ANALYTICAL ORCAFLRX 9.2a</i> .	80
LAMPIRAN C: GRAFIK <i>OUTPUT FAST FURIER TRANSFORM ORCAFLRX 9.2a</i> ...	160
LAMPIRAN D: TABEL <i>EFFECTIVE TOP TENSION RISER ORCAFLRX 9.2a</i> .....	241

# BAB 1

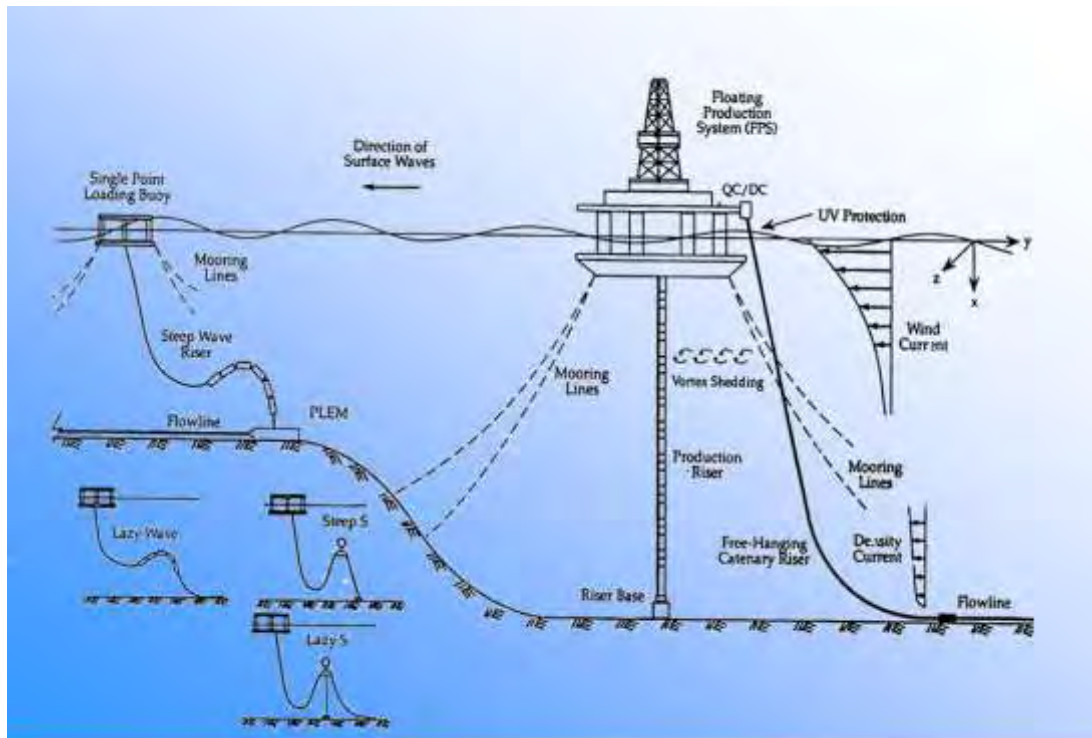
## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Masalah

Minyak dan gas bumi menjadi salah satu bahan baku yang sangat dibutuhkan oleh masyarakat luas. Perannya yang sangat penting dalam pembangunan negara, yaitu sebagai sumber energi, bahan baku dalam negeri dan sebagai sumber penerimaan negara dan devisa yang memberikan kontribusi besar bagi perekonomian negara. Sebagai sumber energi, minyak dan gas bumi juga banyak digunakan oleh masyarakat dunia untuk berbagai keperluan, baik untuk perumahan, komersial maupun industri. Dari tahun ke tahun penggunaan minyak dan gas bumi selalu meningkat (LM FEUI, 2010). Berbagai jenis struktur lepas pantai terus dikembangkan hingga saat ini, itu semua demi menjawab tantangan mengenai kebutuhan energy dunia yang semakin meningkat. Berbagai jenis bangunan lepas pantai telah berkembang mulai dari bangunan yang *fixed* hingga bangunan yang dapat dipindah (*floating*).

Dalam pengeboran bangunan lepas pantai *riser* merupakan bagian yang memiliki peran penting. *Riser* merupakan salah satu fasilitas eksploitasi hydrocarbon yang berupa pipa penghubung (*conductor*) yang menghubungkan pelampung (*floaters*) yang ada dipermukaan air dengan kepala sumur (*wellhead*) yang berada didasar laut. Kegunaan *riser* antara lain *Production/injection, Drilling, Export/import* sirkulasi fluida, *Completion dan Workover*. Terdapat dua tipe *riser* yang digunakan dalam proses pengeboran minyak yakni *Rigid riser* dan *Flexible riser*. *Rigid riser* biasa digunakan pada bangunan lepas pantai jenis *fixed*, sedangkan *flexible riser* digunakan pada bangunan lepas pantai jenis *floating*.

*Flexible riser* merupakan komponen yang sangat penting dalam pengembangan lepas pantai, *flexible riser* dapat mentransfer fluida dari subsea unit menuju *floating structure*. *Riser* ini dapat mengakomodasi motion dari *floating structure* dan gaya hidrodinamis dengan fleksibilitasnya (Hoffman, 1991). *Flexible riser* sangat cocok digunakan pada *middle-deep water* karena dapat menahan offset dari pergerakan *floating structure* (Karegar, 2013).



Gambar 1.1: *flexible riser* (offshorerisertechnology.com)

Adanya silinder yang fleksible (*riser*) akan menyebabkan terjadinya kombinasi gerakan arus dan gelombang dalam jumlah yang besar yang akan mengakibatkan terjadinya (VIV) (So et al 2003). Keadaan tersebut akan menyebabkan tegangan pada bagian struktur khususnya bagian ujungnya. *Vortex-induced vibration* (VIV) yang terjadi pada *riser* tergantung pada beberapa parameter dimensionless. Parameter-parameter adalah. *Reduced velocity* ( $V_t$ ), *Damping ratio* ( $\zeta$ ) dan *Mass ratio* ( $m^*$ ) (Huarte 2006). Maka perlu dilakukannya analisis untuk mengetahui seberapa besar pengaruh *Vortex-induced vibration* (VIV) terhadap *long riser* yang memiliki sifat fleksibel sehingga dapat diketahui besarnya tegangan pada bagian ujung *riser*.

## 1.2 Perumusan Masalah

Perumusan masalah yang akan dibahas dalam tugas akhir ini adalah:

1. Mengetahui besarnya *tension* yang terjadi pada bagian ujung atas model *riser* yang bersifat fleksible akibat *Vortex-induced vibration* (VIV).
2. Bagaimana hubungan antara *tension* pada ujung atas model *riser* yang bersifat fleksible dengan *reduced velocity* ( $V_t$ ) .
3. Bagaimana hubungan Inersia terhadap *tension* yang terjadi pada bagian atas model *riser* akibat *Vortex-induced vibration* (VIV).

### 1.3 Tujuan

Adapun tujuan yang ingin dicapai pada tugas akhir ini adalah:

1. Menghitung besarnya *tension* yang terjadi pada bagian ujung atas model *riser* yang bersifat fleksible akibat *Vortex-induced vibration* (VIV).
2. Mengetahui hubungan antara *tension* pada ujung atas model *riser* yang bersifat fleksible dengan *reduced velocity* ( $V_t$ ) akibat variasi kecepatan aliran fluida dan *Vortex-induced vibration* (VIV).
3. Mengetahui hubungan Inersia terhadap *tension* yang terjadi pada bagian atas model *riser* akibat *Vortex-induced vibration* (VIV).

### 1.4 Manfaat

Adapun manfaat yang dapat diambil dari penelitian ini adalah diketahuinya pengaruh *Vortex-induced vibration* (VIV) pada model *riser* yang bersifat fleksible sehingga dapat diketahui tegangan pada ujung *riser* serta hubungannya dengan *reduced velocity* ( $V_t$ ) dan Inersia ( $I$ ).

### 1.5 Batasan Masalah

Agar pembahasan pada penelitian tugas akhir tidak terlalu melebar maka akan dibuat batasan asumsi. Adapun batasan masalah, antara lain:

1. Penelitian ini dilakukan menggunakan data model *riser* (Huarte, 2006).
2. Aliran dalam *riser* tidak diperhitungkan.
3. Tegangan *riser* yang dianalisis pada bagian ujung atas *risers* saja (*top tension analytical*).
4. Variasi *initial tension* yang digunakan adalah 810 N, 1175 N, 1538 N dan 1922 N
5. Variasi kecepatan arus sebagai fungsi kedalaman yang ditinjau. menggunakan 20 variasi yaitu 0,1 m/s ; 0,15 m/s ; 0,2 m/s ; 0,25 m/s ; 0,3 m/s ; 0,35 m/s ; 0,4 m/s ; 0,45 m/s ; 0,5 m/s ; 0,55 m/s ; 0,6 m/s ; 0,65 m/s ; 0,7 m/s ; 0,75 m/s ; 0,8 m/s ; 0,85 m/s ; 0,9 m/s ; 0,95 m/s ; 1 m/s
6. Bangunan atas diasumsikan diam atau tidak berpengaruh pada gerakan *riser*.
7. Seabed dianggap datar dan kedap.

## **1.6 Sitematika Penulisan**

BAB I, Pendahuluan, menjelaskan tentang latar belakang penulisan, permasalahan yang dibahas dalam penulisan, apa yang akan dilakukan, batasan masalah, tujuan dan manfaat penulisan tugas akhir.

BAB II, Tinjauan pustaka dan dasar teori, menjelaskan tentang dasar teori dan tinjauan pustaka yang menjadi sumber referensi dalam tugas akhir ini dibahas dalam bab dua.

BAB III, Metodologi Penelitian, menjelaskan metodologi penelitian yang akan digunakan untuk mengerjakan tugas akhir. Penjelasan tentang langkah-langkah analisa serta langkah permodelan dengan software.

BAB IV, Analisa data dan pembahasan, membahas hasil dari analisa yang telah dilakukan pada penelitian, meliputi analisa hasil, dan pembahasan hasil analisa.

BAB V, Kesimpulan dan saran, berisi tentang kesimpulan setelah dilakukan analisa dan saran serta rekomendasi dari hasil pengerjaan tugas akhir.

Daftar pustaka menampilkan seluruh informasi dan dokumen tertulis yang dijadikan landasan dan pengembangan penelitian.

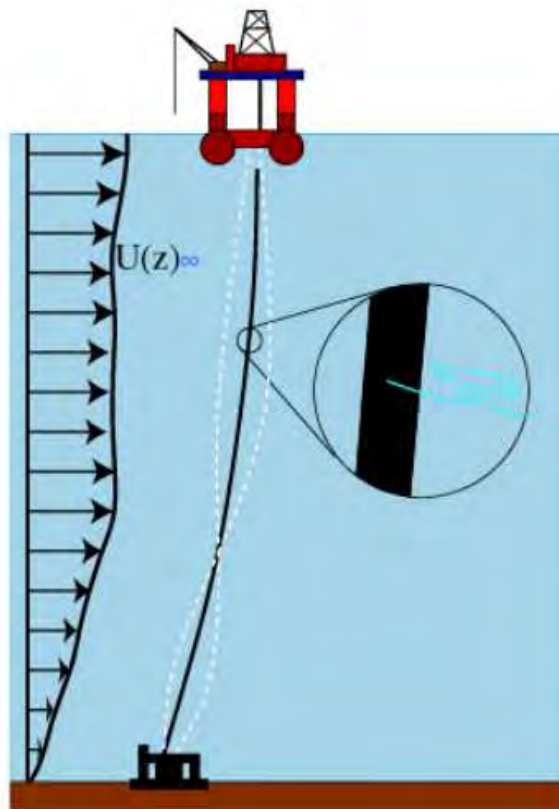


## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

#### 2.1 TinjauanPustaka

*Riser* merupakan salah satu fasilitas yang mempunyai peranan penting dalam proses eksploitasi *hydrocarbon* yang berupa pipa penghubung (*conductor*) yang menghubungkan pelampung (*floaters*) yang ada dipermukaan air dengan kepala sumur (*wellhead*) yang berada didasar laut. adanya silinder yang fleksibel (*riser*) akan menyebabkan terjadinya *vortex-induced vibration* (VIV) (So et al 2003). *vortex-induced vibration* (VIV) merupakan masalah hidrodinamika yang harus diperhatikan pada sistem riser bangunan lepas pantai. VIV memberikan dampak yang sangat besar dan dapat menyebabkan kekuatan struktur menjadi lemah secara signifikan dalam waktu tertentu (Mathelin et al 2005).



Gambar 2.1 : Konfigurasi *riser tension leg platform* (TLP)

## 2.2 Dasar Teori

### 2.2.1 *Riser*

*Riser* adalah pipa yang berfungsi sebagai sarana untuk mentransport minyak dan gas dari dasar laut ke fasilitas produksi yang ada di permukaan laut. Menurut (Young Bai, 2001) *riser* memiliki fungsi, sebagai berikut:

- *Production/injection*
- *Drilling*
- *Export/import* atau sirkulasi fluida
- *Completion*
- *Workover*

(Young Bai, 2001) secara umum *riser* memiliki bagian utama, yaitu:

- *Conduit* (*riser body*)
- *Interface with floater and wellhead*
- *Component*
- *Auxiliary* (*end fittings* atau *bending stiffeners*)

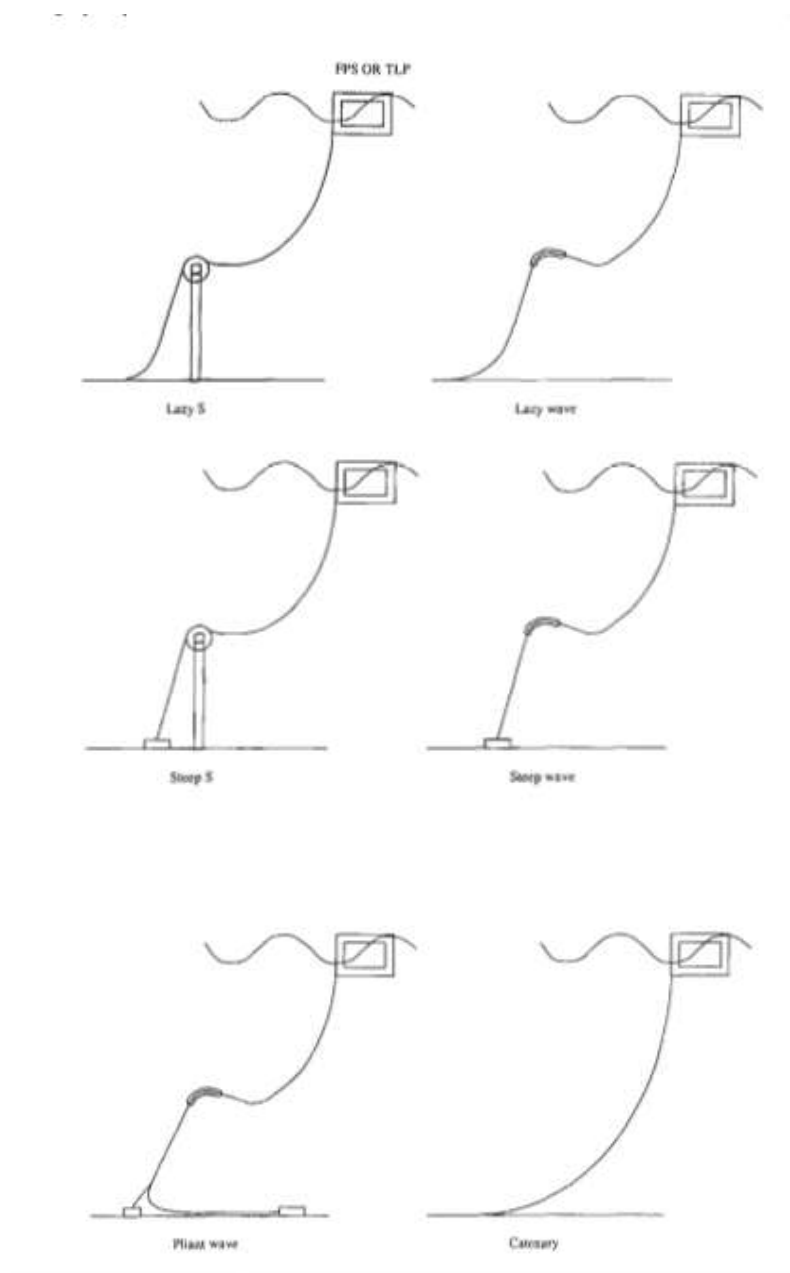
Berdasarkan jenisnya, *riser* terdiri dari *rigid riser* dan *flexible riser*:

#### a) *Rigid riser*

*Riser* jenis ini biasanya terbuat dari bahan baja dan biasanya digunakan pada bangunan lepas pantai jenis *fixed*. *Riser* ini juga digunakan jika suhu dan tekanan fluida yang mengalir terlalu tinggi untuk *flexible riser* yang tipe komponen logamnya tidak memungkinkan.

#### b) *Flexible riser*

*Riser* jenis yang kedua ini jenis *riser* yang terbuat dari bahan elastis (misalnya wires dan polymers) dan biasanya digunakan dalam bangunan lepas pantai jenis *floating*. Tetapi *flexible riser* yang terbuat dari besi atau titanium lebih sesuai untuk digunakan pada perairan yang dalam. *Riser* ini tampak sebagai pipa yang melayang di dalam air dan disupport oleh bouyancinya. *Flexible riser* digunakan pada bangunan lepas pantai yang gerakannya lebih besar.



Gambar 2.2 : riser configuration (Young Bai, 2001).

Didalam pengaplikasiannya, *rigid riser* biasanya digunakan di perairan dangkal dan *flexible riser* digunakan untuk perairan yang dalam dikarenakan lebih efisien. Khusus untuk *flexible riser* dapat dioperasikan pada platform yang memiliki gerakan besar misalnya pada *semi-submersible* dan *tension leg platform* (TLP).

#### 2.2.1.1 Mekanika Bahan

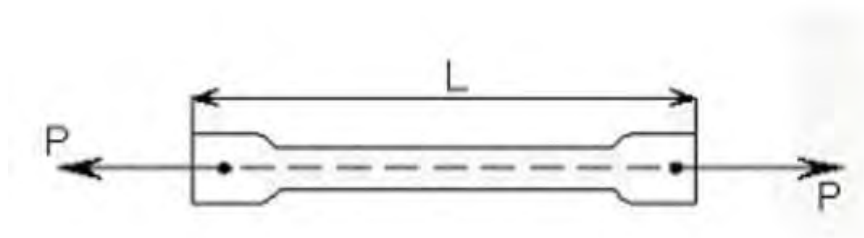
Di dalam penghitungan analisis pada pipa banyak dijumpai proses-proses yang membutuhkan definisi dan formula yang jelas terhadap sifat-sifat bahan seperti ukuran

dimensi, jenis bahan yang akan mempengaruhi nilai kekuatan bahan terhadap tarik atau tekan dan nilai-nilai tegangan leleh dan tegan runtuh spesifikasi bahan.

Adapun manfaat ilmu mekanika bahan ini adalah untuk mengetahui ukuran, bentuk dan material yang digunakan pada suatu bagian struktur agar dapat menahan beban-beban tersebut secara aman. Selain itu semua struktur yang didesain menahan tegangan tertentu akibat dari beban yang ada.

#### a) Tegangan dan Regangan

Tegang dan regangan merupakan suatu fenomena yang lazim terjadinya pada setiap struktur, termasuk untuk struktur pipa (*riser*). Tegangan dan regangan yang terjadi pada pipa tersebut harus diamati dan dianalisa secara benar, karena pada dasarnya sebuah struktur memiliki keterbatasan dalam menerima tegangan dan regangan, baik akibat beban sendiri maupun beban luar. Berikut merupakan teori dasar yang berkaitan dengan tegangan dan regangan yang terjadi pada suatu struktur sederhana.



Gambar 2.3 : benda uji tarik.

Struktur pada gambar diatas ditarik dengan gaya sebesar P yang bekerja pada titik berat penampang intensitas gaya per satuan luas penampang yang didefinisikan sebagai tegangan (*stress*) dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (2.1)$$

Keterangan:

$\sigma$  : Tegangan

$F$  : Gaya (*pressure/tension*)

$A$  : Luas penampang struktur

Akibat adanya tarikan pada struktur dengan panjang  $L$  akan mengalami perpanjangan sebesar  $\Delta L$ . Perpanjangan relatif, yaitu pertambahan panjang per satuan panjang.

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \quad (2.2)$$

Keterangan:

$\varepsilon$  : Regangan

$\Delta L$  : Perubahan (ukuran) panjang pada struktur

$L$  : Panjang awal

Untuk  $P$  sebagai gaya tekan, dapat juga digambarkan hubungan serupa. Formulasi yang mepresentasikan hubungan linier antar Tegangan dan regangan, digunakan sebagai *Hooke's law* sebagai berikut:

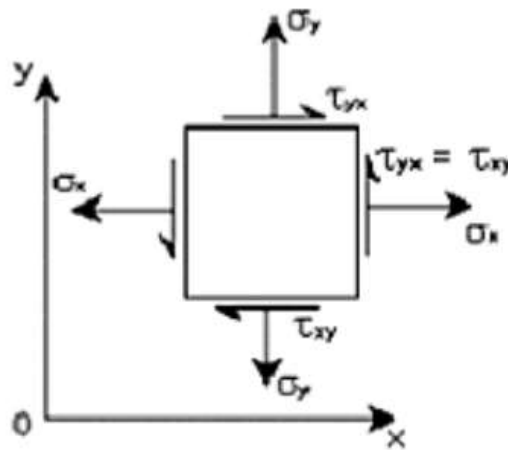
$$\sigma = \varepsilon \cdot E \quad (2.3)$$

Dimana  $E$  adalah modulus elastisitas atau bisa juga disebut modulus *Young*. Nilai .dari modulus elastisitas bergantung pada jenis bahan yang digunakan pada struktur. Untuk pipa yang terbuat dari baja.

Keadaan tegang yang bekerja dalam tiga dimensi dapat dilihat pada sebuah elemen kubus yang dinyatakan oleh tiga kompenen tegangan yang saling tegak lurus pada sulurh sisi kubus. Hal ini disebut sebagai *Stress tensor*. dapat dipresentasikan dalam kompenen matrik

$$\begin{vmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{zy} & \tau_{zy} & \sigma_z \end{vmatrix} \quad (2.4)$$

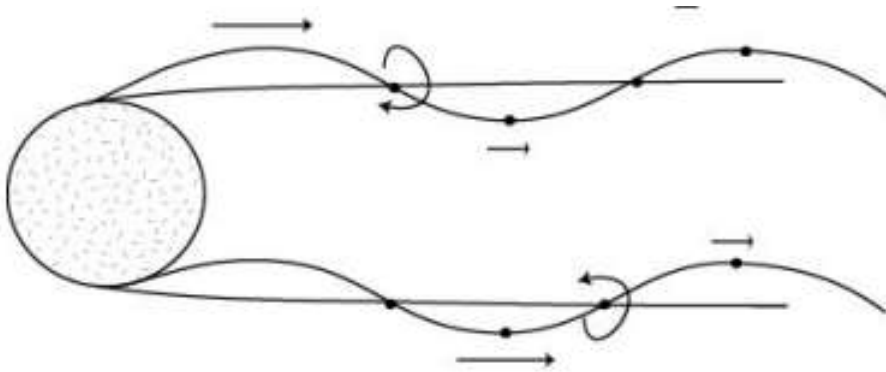
Bila mengambil satu sisi kubus sebagai tinjauan maka akan diperoleh representasi tegang dua dimensi dengan konfigurasi sepertigambar dibawah ini



Gambar 2.4 : tegangan dalam 2 dimensi.

### 2.2.2 Vortex Induced Vibration (VIV)

Pada 1497 Leonardo Da Vinci orang pertama yang memperkenalkan tentang bagaimana aliran fluida dapat berpisah saat mengenai permukaan objek yang berbeda-beda sesuai dengan bentuk objek dan juga jenis pola yang terbentuk setelah melewati objek tersebut. Penelitian terus berkembang setelah itu, untuk deskripsi yang lebih mendalam tentang aliran disekitar silinder dapat ditemukan dalam Zdravkovich (1997).



Gambar 2.5 : Prose pembentukan *vortex*, (Teachet, 2005)

Teachet (2005) menjelaskan, proses terbentuknya *vortex* adalah sebagai berikut:

- ❖ Aliran fluida diluar lebih cepat daripada bagian dalam.
- ❖ Viscositas menumpuk pada titik downcrossing pada bagian atas.
- ❖ Viscositas menumpuk pada titik upcrossing pada bagian bawah.
- ❖ Induced velocities (karena vortisitas) menyebabkan semakin menguatkan.

Perbedaan kecepatan pada bagian tengah aliran yang mempertemukan antara aliran dari atas dan dari bawah yang tidak stabil sehingga menghasilkan sebuah *vortex*.

Reynold (1883) menemukan ketika mengamati aliran internal di dalam pipa, bahwa transisi antara aliran laminar dan turbulen merupakan fungsi dari *density*, *viscosity*, *velocity* dari fluida dan diameter dari pipa. Hubungan antara *inertial force* dan *viscous force* dalam aliran didefinisikan dalam *reynold number* :

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu} \quad (2.5)$$

Keterangan:

Re : *Reynold number*

$\rho$  : *density* fluida





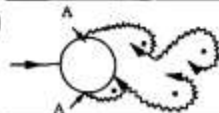
V : Kecepatan partikel (m/s)

D : Diameter struktur (m)

$\mu$  : Viskositas kinematis air ( $\text{m}^2/\text{s}$ )


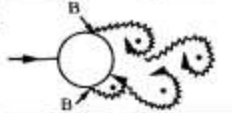
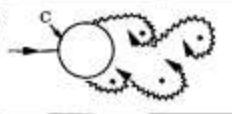

*reynold number* biasanya digunakan sebagai ukuran untuk menentukan kapan terjadinya *vortex shedding*. karena setiap aliran yang melewati sebuah benda atau struktur akan memiliki pola yang berbeda saat melewati benda atau struktur tersebut. Pada *reynold number* tertentu akan mengakibatkan *vortex*. *Vortex* merupakan suatu aliran dimana fluida tersebut partikelnya berotasi pada aliran rotasinya terhadap titik pusatnya. Sedangkan terjadinya *vortex induced vibration* (VIV) diakibatkan karena terdapat resonansi pada struktur. Resonansi terjadi karena frekuensi alami struktur sama dengan frekuensi *vortex shedding*.

Gambar 2.5 menjelaskan pola aliran fluida yang mengenai benda berbentuk silinder dengan permukaan halus dan aliran *steady*. Dapat dilihat setelah aliran fluida mengenai benda berbentuk silinder mengakibatkan pola aliran fluida berubah. Setiap perubahan *reynold number* akan mengakibatkan perubahan pola aliran dibagian belakang silinder tersebut, setiap *reynold number* memiliki pola alirannya sendiri-sendiri.

a)		No separation. Creeping flow	$Re < 5$
b)		A fixed pair of symmetric vortices	$5 < Re < 40$
c)		Laminar vortex street	$40 < Re < 200$
d)		Transition to turbulence in the wake	$200 < Re < 300$
e)		Wake completely turbulent. A: Laminar boundary layer separation	$300 < Re < 3 \times 10^5$  Subcritical

Gambar 2.6 : Aliran setelah melewati silinder halus dalam arus *steady* (Summer dan Ferdsøe, 2006)

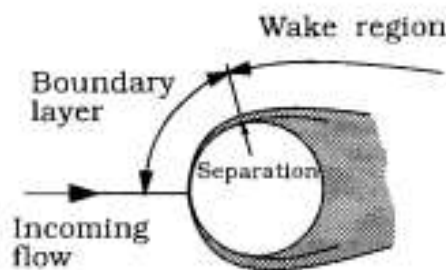


f)		A: Laminar boundary layer separation B: Turbulent boundary layer separation; but boundary layer laminar	$3 \times 10^5 < Re < 3.5 \times 10^5$ Critical (Lower transition)
g)		B: Turbulent boundary layer separation; the boundary layer partly laminar partly turbulent	$3.5 \times 10^5 < Re < 1.5 \times 10^6$ Supercritical
h)		C: Boundary layer completely turbulent at one side	$1.5 \times 10^6 < Re < 4 \times 10^6$ Upper transition
ii)		C: Boundary layer completely turbulent at two sides	$4 \times 10^6 < Re$ Transcritical

Gambar 2.6 : Aliran setelah melewati silinder halus dalam arus *steady* (Summer dan Ferdsøe,2006). Lanjutan

$$\frac{\delta}{D} = O\left(\frac{1}{\sqrt{Re}}\right) \quad (2.6)$$

Dapat dilihat  $\delta/D \ll 1$  dari  $Re$  lebih besar dari 100. Dimana  $\delta$  merupakan *boundary layer*

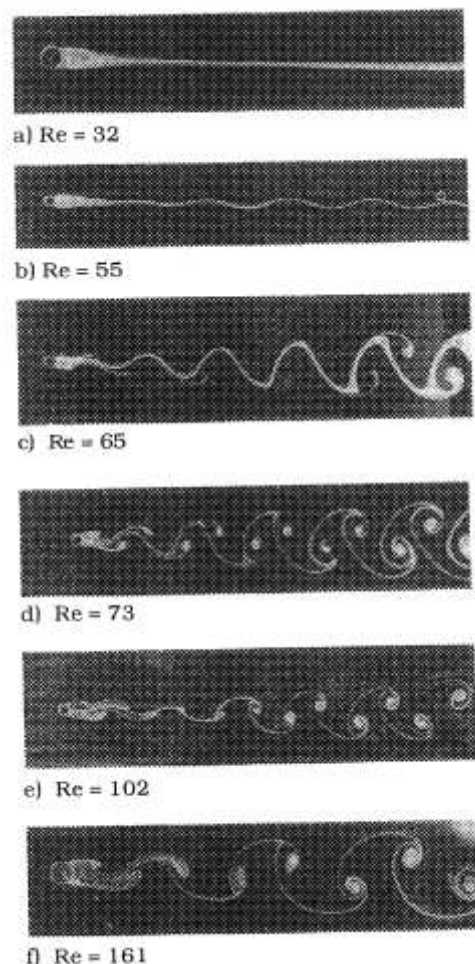


Gambar 2.7 : Sketsa definisi (Summer dan Ferdsøe,2006)

Bentuk pola dari *vortex* itu sendiri dapat berbeda-beda, bergantung pada nilai *reynold number* yang terjadi pada aliran fluida tersebut. setiap aliran fluida memiliki nilai *reynold number* yang berbeda sesuai dengan khusus yang ditinjau pada apakah benda tersebut dan berbentuk seperti apakah benda tersebut.

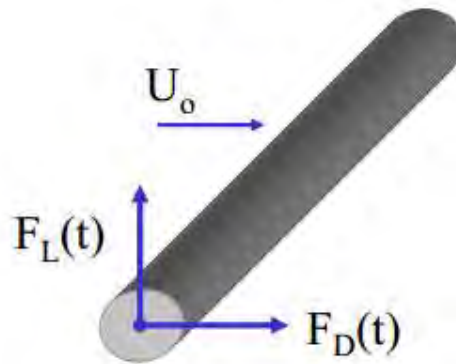
Dari gambar 2.5 dapat dijelaskan bahwa terbentuk atau tidaknya aliran *vortex* pada aliran sekitar struktur bergantung pada nilai *reynold number*. Untuk harga  $Re < 5$  belum terjadi

vortex pada aliran yang melewati silinder, artinya pada harga tersebut belum terbentuk vortex. Pada nilai  $Re\ 5 < Re < 40$  mulai terlihat sepasang vortex didalam aliran gelombang. tetapi bentuknya belum terlalu terluhat Pada  $40 < Re < 200$  sudah mulai terlihat vortex yang berbentuk laminar. Pada  $200 < Re < 300$  vortex yang terbentuk mulai berbentuk turbulen. Semakin besarnya nilai  $Re$  yaitu, terbentuk 2 daerah pembentuk vortex yaitu pada bagian sisi kanan dan kiri dari silinder yang bersifat laminar, dapat dilihat pada *reynold number*  $300 < Re < 3 \times 10^6$ ,  $3 \times 10^6 < Re < 3,5 \times 10^5$ ,  $3,5 \times 10^5 < Re < 1,5 \times 10^6$ ,  $1,5 \times 10^6 < Re < 4 \times 10^6$  dan  $4 \times 10^6 < Re$ . Semakin besar nilai *reynold number* maka aliran vortex akan menjadi semakin sedikit dan semakin tidak teratur.



Gambar 2.8 : Penampakan dari *vortex shedding* dibagian belakang silinder dalam steam oil dengan kenaikan nilai  $Re$  (Homann, 1936)

*Vortex shedding* dapat menimbulkan gaya drag dan gaya lift pada silinder bulat. Gaya lift memiliki arah tegak lurus terhadap silinder sedangkan gaya drag memiliki arah sejajar dengan silinder. Karena pergantian *vortex wake (Karma street)* maka osilasi gaya list terjadi pada frekuensi *vortex shedding* dan gaya drag terjadi pada dua kali frekuensi *vortex shedding*.

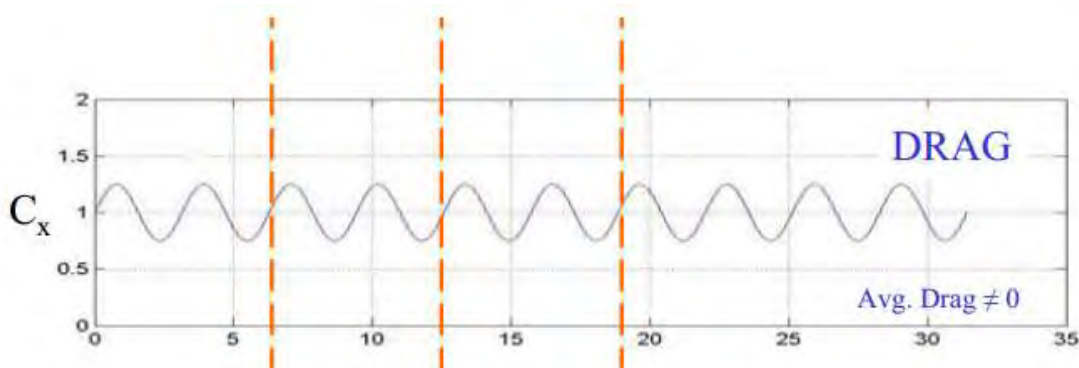


, Gambar 2.9 : konfigurasi gaya list dan gaya drag pada silinder (Techet, 2005)

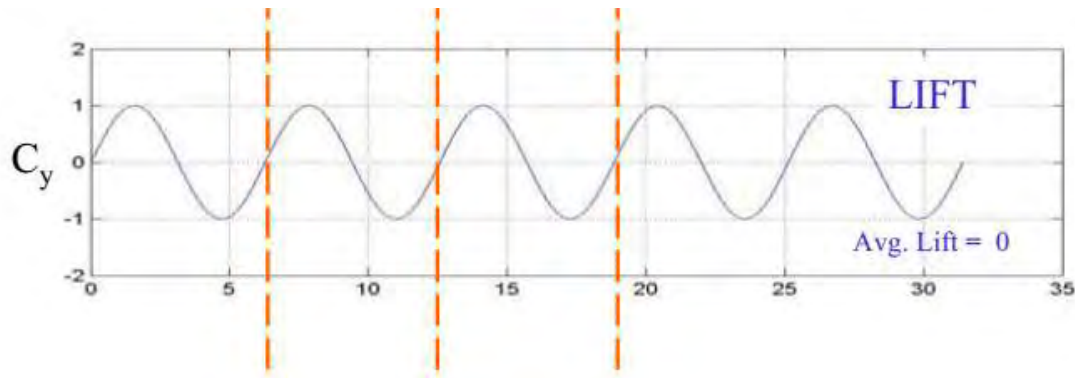
Berdasarkan aliran *unsteady* gaya  $X(t)$  dan  $Y(t)$  terhadap waktu menghasilkan persamaan *forcer coefficient* :

$$Cx = \frac{D(t)}{\frac{1}{2}\rho U^2 d} \quad (2.7)$$

$$Cy = \frac{L(t)}{\frac{1}{2}\rho U^2 d} \quad (2.8)$$



Gambar 2.10 : *Force time trace* gaya drag (Techet, 2005)



, Gambar 2.11 : *Force time trace* gaya lift (Techet, 2005)

### 2.2.3 Parameter penting dalam analisa *vortex shedding*

Salah satu fitur penting untuk mendeskripsikan aliran dalam *vortex shedding phenomenon*. pada gambar 2.3 dapat diketahui bahwa  $Re > 40$  akan membuat sebuah *vortex shedding*. sebelumnya pada gambar 2.2 telah dijelaskan bagaimana proses terjadinya *vortex shedding*.

- **Reynold number (Re)** sangat penting untuk mengindikasikan bentuk aliran yang terbentuk dan berhubungan dengan tahanan suatu benda. Persamaan *reynold number* dapat dilihat pada persamaan 2.3.
- **Strouhal number (St)** merupakan frekuensi yang tidak berdimensi (*demensiless*) merupakan fungsi dari *reynold number* (Re)

$$St = \frac{f_s D}{U} \quad (2.9)$$

Keterangan:

St : *Strouhal number*

$f_s$  : frekuensi *vortex shedding* (Hz)

U : Kecepatan partikel (m/s)

D : Diameter struktur (m)

- **Turbulence intensity** adalah ukuran relatif terhadap kecepatan bebas *velocity* aliran yang menunjukkan jumlah gangguan pada aliran.

- **Aspect ratio L/D**, adalah hubungan antara panjang dan diameter dari silinder.
- **Roughness ratio** dapat dijabarkan menjadi  $k/D$  dimana  $k$  adalah *equivalen* dari *sand roughness* parameter dan  $D$  adalah diameter dari struktur.

#### 2.2.4 Parameter penting dalam analisa *vortex induced vibration* (VIV)

- **Damping ratio ( $\zeta$ )** menggambarkan kekuatan dari struktur untuk menahan energi getaran.
- **Reduced velocity ( $V_t$ )** adalah kecepatan dimana osilasi akibat *vortex shedding* terjadi. *Reduced velocity* digunakan untuk penentuan pada kecepatan berapa terjadinya getaran / osilasi akibat *vortex shedding*.

$$V_t = \frac{U}{f_n D} \quad (2.10)$$

Keterangan:

$V_t$  : *Reduced velocity* (m/s)

$U$  : Kecepatan partikel (m/s)

$f_n$  : Frekuensi (Hz)

$D$  : diameter struktur (m)

- ***Vortex shedding frequency*** merupakan jumlah dari *vortex shedding* yang terjadi.

$$f_s = \frac{St U}{D} \quad (2.11)$$

Keterangan :

$f_s$  : frekuensi *vortex shedding* (Hz)

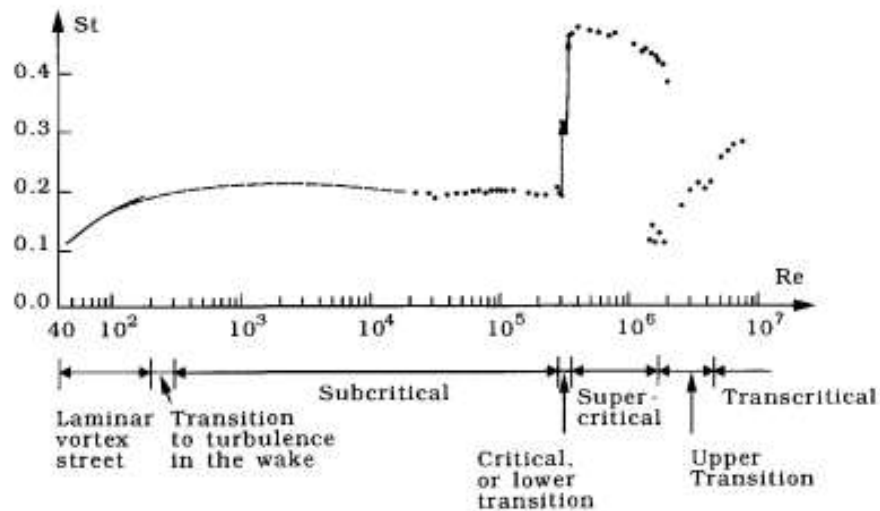
$St$  : *Strouhal number*

: untuk silinder bulat memiliki nilai 0,2

$U$  : Kecepatan partikel (m/s)

$D$  : Diameter struktur (m)

Bagaimanakah hubungan antar *strouhal number* (St) yang berpengaruh kepada frekuensi *vortex shedding* dengan *reynold number* (Re). berikut gabar grafik hubungan antara *strouhal number* (St) dengan *reynold number* (Re)



Gambar 2.12 : *strouhal number* (St) pada silinder dengan permukaan halus dengan *reynold number* (Re) (Summer dan Ferdsoe, 2006)

- **Mass ratio ( $m^*$ )** rasio antara massa per unit panjang dari struktur dengan displaced mass saat fluida berosilasi.

$$m^* = \frac{m}{\frac{\pi}{4} \rho D^2} \quad (2.4)$$

Keterangan:

$m^*$  : Mass ratio

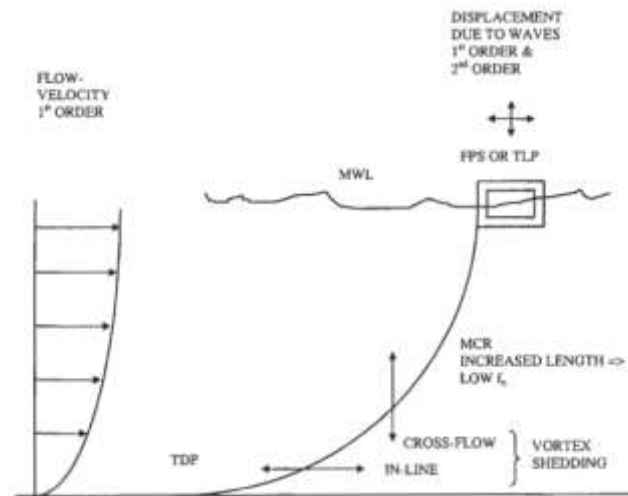
$m$  : Massa (Kg)

$\rho$  : density fluida

$D$  : diameter struktur (m)

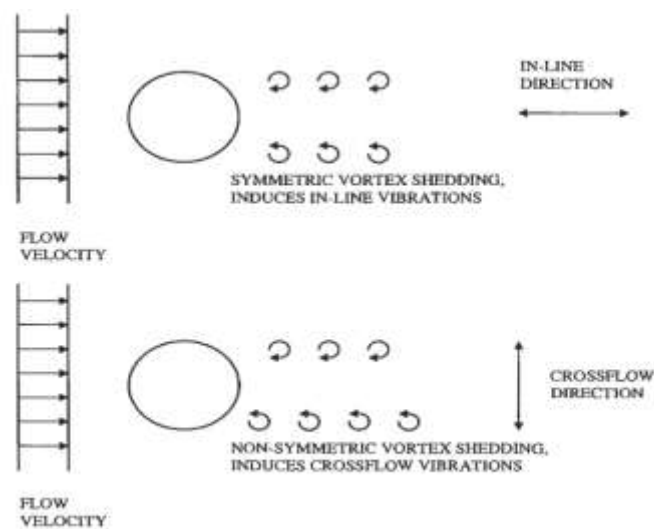
### 2.2.5 Aliran Akibat Vortex

Pada pengoprasian riser ada dua jenis getaran yang mungkin terjadi, yakni *in-line* dan *cross-flow*.



Gambar 2.13 : *environmental action* (Young Bai,2001)

Gerakan *in-line* terjadi apabila getaran system searah dengan arah datang arus dan gelombang yang mengenai sistem tersebut. sedangkan gerakan *cross flow* terjadi apabila gerakan sistem tegak lurus terhadap arah datangnya arus dan gelombang yang mengenai sistem tersebut.



Gambar 2.14 : Pola aliran *in-line* dan *cross-flow* disekitar silinder (Young Bai,2001)

Dalam mengukur terjadinya kedua jenis getaran tersebut ada beberapa parameter yang harus digunakan, parameter tersebut adalah sebagai berikut:

### 1. *Reduced velocity* ( $V_t$ )

Adalah besaran non dimensional yang digunakan untuk menentukan eksistensi *vortex shedding*. dari nilai *reduced velocity* dapat diketahui jenis getaran yang terjadi disekitar aliran. Kedua tipe getaran yakni *in-line* dan *cross-flow* memiliki nilai *reduced velocity* ( $V_t$ ) masing-masing, batasan nilai adalah sebagai berikut:

- *In-line* response terjadi apabila harga  $V_t$ ,  $1,0 < V_t < 3,7$
- *Cross-flow* response terjadi apabila harga  $V_t$ ,  $3,7 < V_t < 11$

### 2. *Reduced damping* / parameter stabilitas

Adalah perkalian antara *logarithmic decrement* dari struktur damping dengan massa relatif dari struktur tiap satuan panjang, diameter struktur dan massa jenis fluida. Besarnya *reduced damping* adalah sebagai berikut:  $K_s$

$$K_s = \frac{2m_e \delta_e}{\rho D^2} \quad (2.12)$$

$m_e$  : Massa efektif per satuan panjang

$$: \frac{\sum_i m_i y_i^2}{\sum_i y_i^2}$$

$\delta$  : *logarithmic decrement*

$$: 2\pi\zeta$$

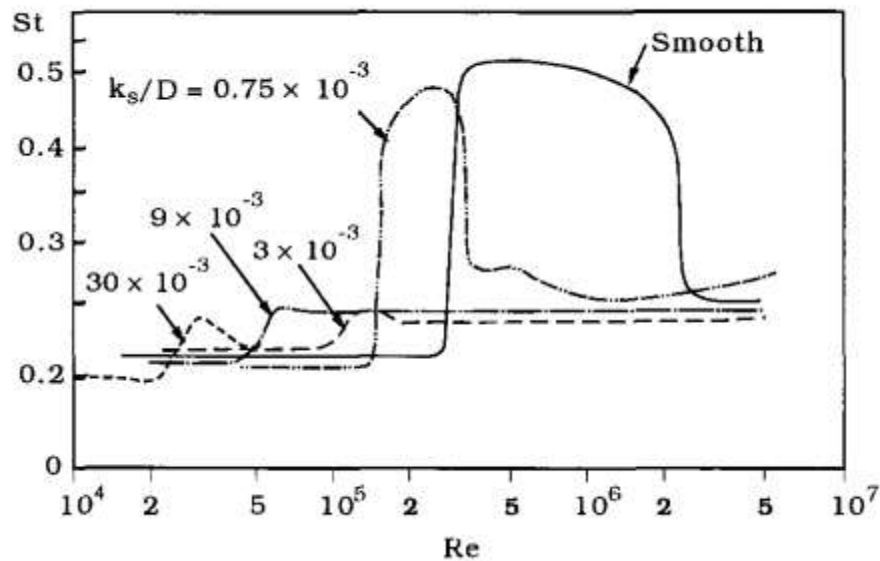
Jika  $K_s > 1,8$  maka terjadi *in-line response* dan jika  $K_s > 25$  akan terjadi *cross flow response*.

$K_s$  adalah *Nikuradse's equivalent sand roughness* dari permukaan silinder.  $K_s$  juga dapat berpengaruh terhadap terjadinya *vortex shedding*. dengan adanya  $K_s$ , persamaan *strouhal number* akan berubah menjadi



$$St = St(Re, \frac{k_s}{D}) \quad (2.13)$$

Dimana hal tersebut akan mengubah hubungan antara *strouhal number* dengan *reynold number*.



Gambar 2.15 : Efek *surface roughness* terhadap frekuensi *vortexshedding*. (Achenbach and hainecke, 1981)

Dalam pengertian VIV dikenal adanya istilah *locked in* yang terjadi pada silinder. Silinder dikatakan *locked in* apabila frekuensi alami osilasi sama dengan frekuensi *vortex shedding* (Techet, 2005).

- Kecepatan sudut alami silinder:

$$\omega_n = \frac{k}{m+ma} \quad (2.13)$$

Keterangan:

$\omega_n$  : Natural Frequency of oscillation

k : matrik kekakuan

m : massa struktur

- Kecepatan sudut *shedding*

$$\omega v = 2\pi f v \quad (2.14)$$

$$\omega v = 2\pi St \left( \frac{U}{d} \right) \quad (2.15)$$

Keterangan

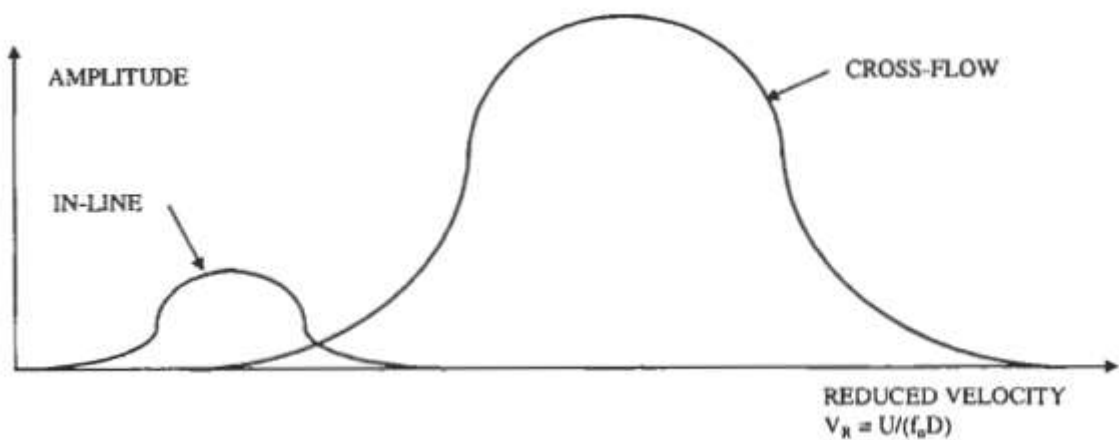
$\omega v$  : *Shedding frequency* (rad/s)

$f v$  : frekuensi (Hz)

$St$  : *strouhal number*

$U$  : Kecepatan partikel (m/s)

$d$  : Diameter Struktur (m)



Gambar 2.16 : tipikal *amplitude response* terhadap *reduced velocity* (Young Bai,2001)

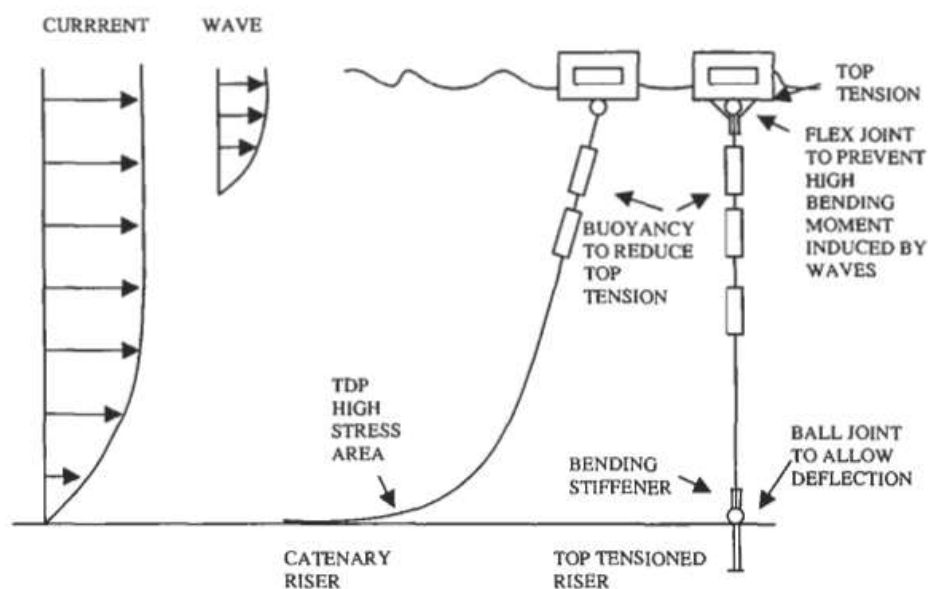
Parameter selanjutnya yang berkaitan dengan getaran *vortex* erat kaitannya dengan amplitudo maksimum yang terjadi. Dari amplitudo inilah dapat diketahui getaran apakah yang terjadi apakah *in-line response* atau *cross-flow response*. Pada gambar 2.8 dapat diketahui bahwa *in-line response* memiliki amplitudo yang lebih kecil dibandingkan dengan *cross-flow response*.

### 2.2.6 Top Tension Analytical

*Top tension* adalah tegangan yang terjadi pada *riser* yang beradapada penghubungn antara *riser* dengan bangunan atas. *Top tension* sangat sensitif dengan beban gelombang dan arus yang dikenakan pada struktur *riser* dikarenakan pergerakan dibagian atas dan bawah sangatlah terbatas. Jika *top tension* berkurang itu dikarenakan bending momen yang lebih besar disepanjang *riser* terutama jika *riser* berlokasi di lingkungan yang memiliki arus kuat dan jika *effective tension* menjadi negatif (Pemadatan) selanjtnya *euler buckling* akan terjadi.

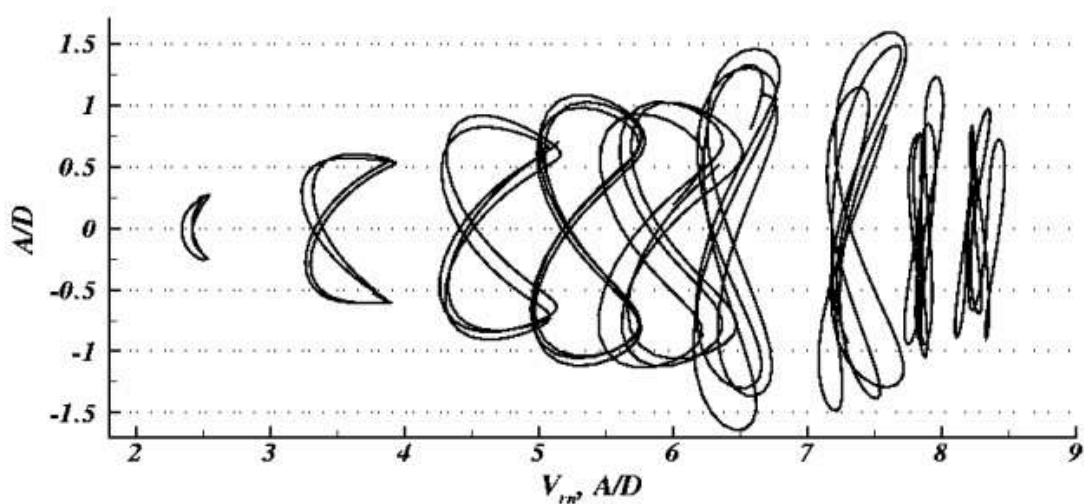
Pada Gambar 2.9 terdapat 2 jenis *riser* yang pertama *Cetenary* dan *riser top tension riser*. Perbedaan dari kedua *riser* tersebut adalah tumpuan pada bagian ujungnya beserta beberapa komponenpendukungnya.

Pada *catenary riser* memiliki gerakanpada strukturnya (terangkatatau turun kebawah keareh seabed). Ini yang menyebabkan pada model ini *effective tension* memiliki nilai positif. Betuk bentuk bangunan seperti ini sangat sensitif terhadap beban lingkungan yakni gelombang dan arus diharapkan dapat menormalkan *low effective tension*. Sedangkan kombinasi dari *buoyancy modules* akan mengakibatkan *effective tension* bertambah. (Young Bai, 2001)



Gambar 2.17 : Komponen dalam disain riser (Young Bai,2001)

Sebuah silinder yang bersifat fleksibel bisa berpindah pada dua arah dan cenderung bebas gambar 8 gerakan. Gerakan tersebut didikte oleh tension dalam struktur dan kecepatan penarikan.



, Gambar 2.18 : *Flexible cylinder motion trajectories* (Techet, 2005)

### ✓ Sistem Tumpuan

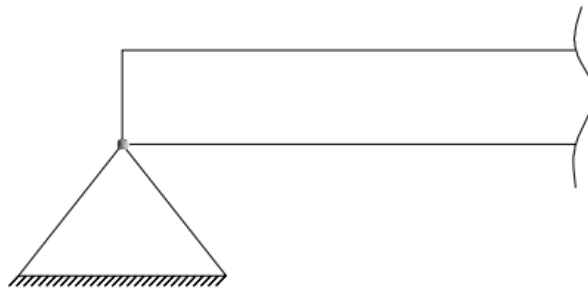
Didalam dunia konstruksi ada beberapa jenis sistem tumpuan yang digunakan sebagai asumsi dalam permodelan sebuah struktur. Sistem tumpuan ini juga bisa digunakan sebagai sebuah syarat batas yang digunakan pada sebuah struktur. Efek dan keadaan yang dimiliki dan dihasilkan oleh sistem tumpuan tentu akan memiliki hasil yang berbeda untuk sebuah sistem tumpuan yang berbeda pula. Oleh karena itu proses analisa mengenai sistem tumpuan ini tidak boleh keliru karena dampaknya sangatlah besar terhadap kekokohan dan keberlangsungan sebuah struktur.

Adapun jenis-jenis sistem tumpuan yang lazim digunakan adalah sebagai berikut;

#### a) *Pin joint*

Sistem tumpuan *pin joint* atau bisa disebut juga tumpuan sendi ini adalah sebuah sistem perletakan yang menahan gaya dan pergerakan arah horizontal dan vertikal. Akibat defleksi yang terjadi pada arah horizontal dan vertikal dari sistem perletakan tersebut adalah nol. Selain itu juga pada

proses pengerjaan gaya-gaya dalamnya sudah dapat dipastikan bahwa momen pada tumpuan yang berupa pin atau sendi akan sama dengan nol.

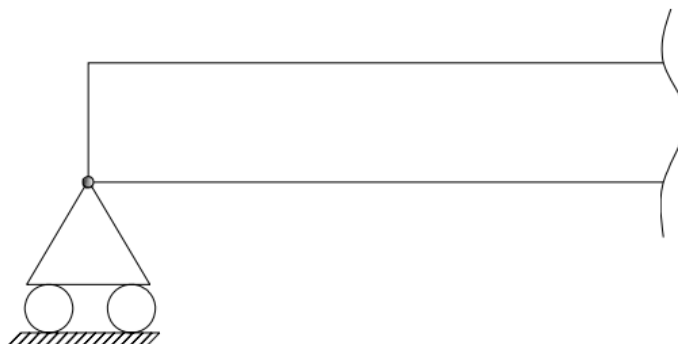


Gambar 2.19 : Simbolisasi *pin joint*

Tetapi pada tumpuan *pin joint* tidak mampu menahan rotasi, maka dari itu pada tumpuan *pin joint* sanga mungkin terjadinya rotasi pada struktur. Hal ini dimungkinkan karena momen pada bentang yang tepat diatas tumpuan sama dengan nol. Pipa bawah laut yang sudah diinstal juga diasumsikan sebagai sebuah tumpuan *pinjoint* pada tiap nodalnya. Hal ini dimungkinkan karena tanah atau seabed hanya akan menahan pergerakan arah horizontal (x,y) tetapi tidak dengan arah vertikan (z).

b) *Roll joint*

Tumouan *roll* adalah sebuah sistem tumouan yang menahan gaya dan pergerakan arah vertikal. Akibatnya defleksi yang terjadi pada arah vertikal dari sistem perletakan tersebut adalah nol. Selain itu jua pada proses pengerjaan gaya-gaya dalamnya, sudah dapat dipastikan bahwa gaya horizontal pada perletakan yang berupa rol akan sama dengan nol.

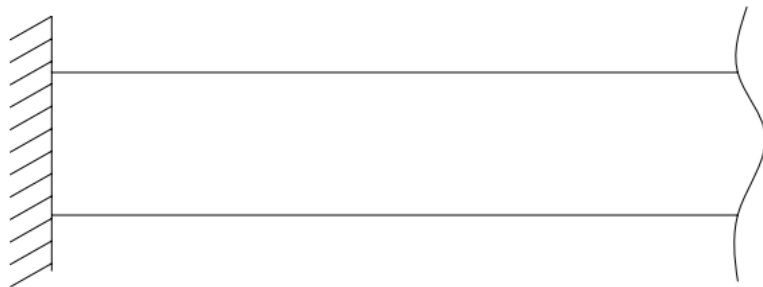


Gambar 2.20 : Simbolisasi *rol joint*

Pada tumpuan rol dimungkinkan untuk terjadinya defleksi pada arah horizontal tumpuan dan rotasi pada perletakannya. Sama halnya seperti rol, sistem tumpuan ini akan mengalami pergeseran atau bergerak secara horizontal jika diberi gaya horizontal. Oleh karena itu permodelan pada struktur dengan menggunakan sistem tumpuan rol harus benar-benar dipastikan apakah struktur tersebut tidak mengalami gaya horizontal sama sekali yang memungkinkan terjadinya defleksi arah horizontal.

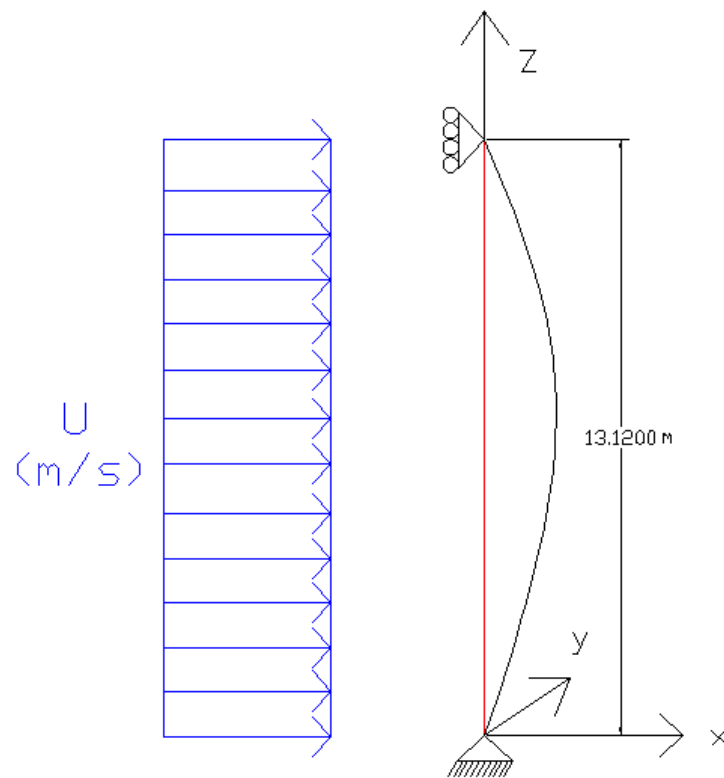
c) *Fixed joint*

Sistem tumpuan *fixed joint* atau bisa dikatakan tumpuan jepit adalah sebuah sistem tumpuan yang menahan gaya dan pergerakan arah vertikal serta rotasi pada tumpuannya. Akibat defleksi yang terjadi pada arah vertikal, horizontal dan rotasi dari sistem tumpuan jepit adalah sama dengan nol. Selain itu juga pada proses pengerjaan gaya-gaya dalamnya momen, gaya horizontal dan gaya vertikal pada perletakan yang berupa jepit adalah sebuah bilangan tidak diketahui.



Gambar 2.21 : Simbolisasi *fixed joint*

Pada sistem tumpuan jepit ini defleksi dan rotasi tidak diizinkan untuk terjadi. Adapun contoh sistem tumpuan jepit adalah seperti pada kolom atau pilar sebuah bangunan yang langsung menumpu dan menancap ke dalam tanah. Dalam hal ini tanah digunakan sebagai alat penjepit untuk menahan pergerakan dari kolom atau pilar tersebut, baik pergerakan pada arah horizontal maupun pergerakan pada arah vertikal dan rotasinya.



Gambar 2.22 : Konfigurasi pembebanan *riser*.

Dengan konfigurasi *riser* seperti gambar 2.19 diatas terdiri dari 2 jenis tumpuan yakni *pin joint* pada bagian bawa dan *roll joint* pada bagian atas. penyusunan rumus Tmean dapat dilakukan.

Bahan *flexible riser* yang lebih elastis memberikan dampak tersendiri terhadap besarnya nilai *top tension*. Penghitungan nilai *top tension* pada *flexible riser* dengan ujung fix menggunakan penggabungan hukum Hooke's dan elastisitas. Tegangan rata-rata bagian atas (Tmean) dapat digambarkan:

$$\tau_{\text{mean}} = \tau_{\text{int}} + E A_c \frac{\Delta L}{L} \quad (2.16)$$

Dimana  $T_{\text{int}}$  adalah tegangan awal (Initial Tension);  $\Delta L = S - L$ , L dan S adalah panjang awal dan pangsang seketika dari struktur silinder; E adalah modulus elastisitas; dan  $A_c$  merupakan *wall cross section area*.

$$A_c = \pi ((OD)^2 - (ID)^2) \quad (2.17)$$

*Wall cross section area* untuk pipa dapat dirumuskan menjadi persamaan diatas. OD untuk diameter luar (*Outer diameter*) pipa sedangkan ID untuk diameter dalam (*Inlet diameter*) pipa.

Persamaan sederhana untuk menggambarkan  $\Delta L$ , adalah:

$$\Delta L = \frac{1}{2} \int_0^L Y'^2 dZ \quad (2.18)$$

Untuk *pin beam* persamaan diatas dapat ditemukan jika :

$$Y = \frac{F}{(EI\pi^2 + T_{mean}(\frac{\pi^2}{L^2}))} \sin \frac{\pi Z}{L} \quad (2.19)$$

Dimana F adalah gaya external perpendicular pada model. Berikut defleksi yang diinduksi dengan gaya drag. F dapat dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut:

$$F = \frac{1}{2} \rho U^2 D C_D \quad (2.20)$$

Dari persamaan diatas kemudian dikombinasikan (2.15 , 2.18 , 2.19 dan 2.20) didapatkan persamaan Tegangan rata-rata pada bagian atas *riser* ( $T_{mean}$ ) dengan pengaruh dari *velocity* sebagai berikut:

$$\tau_{mean} = \tau_{ini} + \frac{E A_c (\rho U^2 D C_D L)^2}{16 (EI\pi^2 + T_{mean} L^2)} \quad (2.21)$$

Persamaan (2.21) nantinya dicari untuk mengetahui hubungan antara  $T_{top}$  dengan *reduced velocity* ( $V_t$ ). Dimana  $V_t = U / f_n D$ . dengan  $f_n$  adalah frekuensi natural dari model.

### 2.2.7 Vibration of a Tensioned Beam

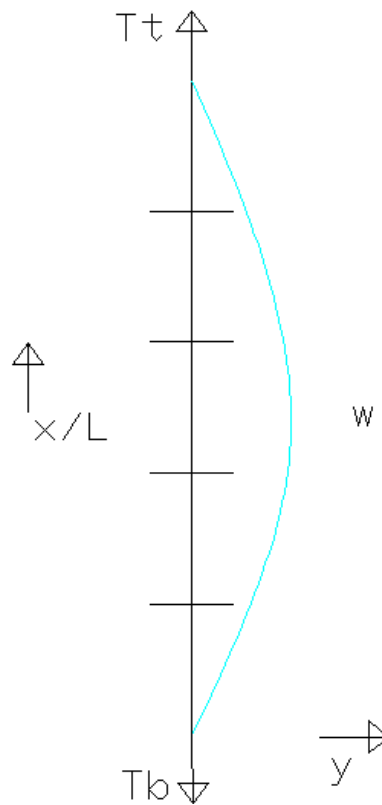
Sebuah *riser* dasarnya adalah sebuah *vertical tensioned beam*. Untuk menghitung getarannya menggunakan



$$EI \frac{d^4 y}{dx^4} - T x \frac{d^2 y}{dx^2} - w \frac{dy}{dx} + m \frac{d^2 y}{dt^2} = 0 \quad (2.22)$$

Persamaan (2.22) hanya dapat dipakai untuk analisa dengan *tension* yang konstan ( $w=0$ ), persamaannya menjadi:

$$y = ya \sin\left(\frac{n\pi x}{L}\right) \sin(\omega_n t) \quad (2.23)$$



Gambar 2.23 : riser axes

Dari penjelasan diatas dapat diketahui bahwa rumus untuk periode natura; ( $T_{pn}$ ) pada mode “n” dengan frekuensi natural ( $\omega_n$ ) adalah:

$$T_{pn} = \frac{2\pi}{f_n} = \frac{2L/n}{\sqrt{\left\{ \frac{T}{m} + \left[ \left( \frac{n\pi}{L} \right)^2 \frac{EI}{m} \right] \right\}}} \quad (2.24)$$

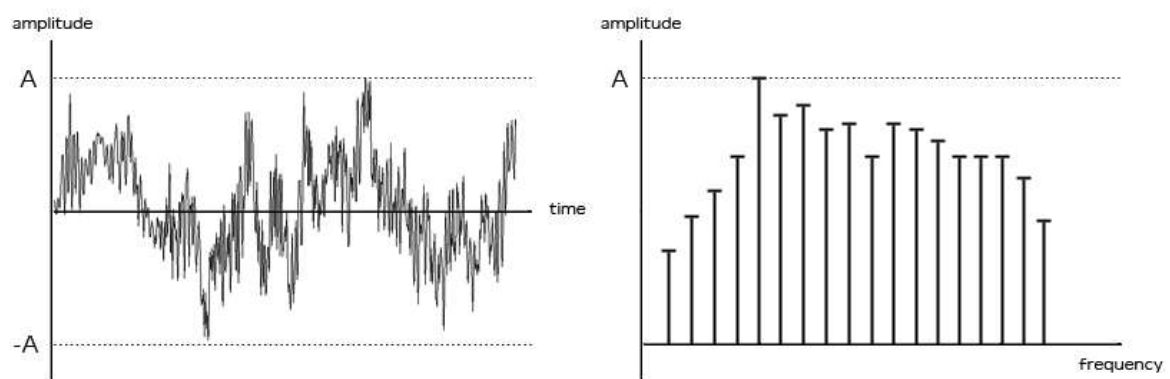
### 2.2.8 Time Domain Analytical

pengertian dari *time domain* merupakan analisa data, fungsi ataupun sinyal yang akan berhubungan dengan fungsi waktu. Dikembangkan pertama kali oleh Amerika Serikat pada tahun 1940-an dan mulai sering dipakai pada tahun 1950. Biasanya analisa *time domain* akan menghasilkan grafik besaran yang akan diukur dalam fungsi waktu.

- ❖ *Time domain analysis* memberikan pola dari sinyal/ gelombang terhadap waktu, dan juga memprediksi *regression* model berdasarkan sinyal/gelombang yang didapat dari analisis waktu.
- ❖ *Time domain analysis* juga digunakan untuk memahami data yang melebihi waktu.

Beberapa hal yang harus diperhatikan dalam analisa time domain adalah:

- ❖ Amplitudo (*Amplitude*) adalah besar osilasi suatu gelombang. Amplitudo juga dapat didefinisikan sebagai jarak/simpangan terjauh dari titik kesetimbangan dalam gelombang sinusoide. Satuannya adalah meter.
- ❖ Frekuensi (*Frequency*) adalah ukuran jumlah putaran ulang per peristiwa dalam satuan waktu yang diberikan. Memiliki satuan Hz.
- ❖ Fasa (*Phase*) adalah ukuran posisi relatif suatu sinyal dalam waktu selama satu periode sinyal.



Gambar 2.24 : Grafik *time domain*

Beberapa hal yang bisa dianalisa dengan menggunakan *time domain analytical*, diantaranya:

- ✓ Fourier series – repetitive signals, oscillating systems
- ✓ Fourier transform – nonrepetitive signals, transients

- ✓ Laplace transform – electronic circuits and control systems
- ✓ Z transform – discrete signals, digital signal processing

### 2.2.9 Fast Furier Transform (FFT)

*fast furier transform* (FFT) adalah suatu algoritma untuk menghitung transformasi Fourier diskrit (*Discrete Fourier Transform*, DFT) dengan cepat dan efisien. Didalam dunia teknik *fast furier transform* (FFT) difenisikan sebagai sebuah metode yang digunakan untuk memecahkan masalah interpolasi dimana *coefficient ring* digunakan untuk membuat *polynominals* untuk mutiplikative struktu ( Mateer T, 2008). Mudahnya *fast furier transform* (FFT) digunakan untuk mengetahui frekuensi dominan dari sebuah gelombang acak seperti grafik output analisa time domain. Karena pada dasarnya gelombang acak tersusun dari superposisi gelombang-gelombang reguler dalam jumlah yang besar, yang secara teoritis bisa mencapai jumlah yang tidak terhingga (Djarmiko, E. B. 2012).

Kondisi yang secara umum disebut sebagai proses acak tersebut dapat dipresentasikan oleh deret Fourier yang memuat komponen-komponen periodik dengan frekuensi-frekuensi yang merupakan multiplikasi dari frekuensi dasar,  $\omega$  (elevasi gelombang acak) dapat dituliskan dalam bentuk persamaan:

$$\xi(t) = \zeta + \sum_{i=0}^n A_n \cos(\omega_n t) + B_n \cos(\omega_n t) \quad (2.25)$$

Dimana komponen-komponen frekuensi tersebut adalah:

$$\omega_n = \frac{2\pi n}{T_H} \left( \frac{\text{rad}}{\text{s}} \right) \text{ untuk } n = 1, 2, 4 \dots n \quad (2.26)$$

Dengan  $T_H$  sebagai rentang waktu keseluruhan proses.  $A_n$  dan  $B_n$  adalah koefisien-koefisien yang dapat diberikan dalam bentuk persamaan:

$$A_n = \frac{2\pi}{T_H} \int_0^H \xi(t) \cos(\omega_n t) dt \quad (2.27)$$

$$B_n = \frac{2\pi}{T_H} \int_0^H \xi(t) \sin(\omega_n t) dt \quad (2.28)$$

Dengan demikian persamaan 2.25 dapat dituliskan kembali dalam bentuk gabungan fungsi periodik berikut:

$$\xi(t) = \zeta + \sum_{i=0}^n \xi_{n0} \cos(\omega_n t + \epsilon_n) \quad (2.29)$$

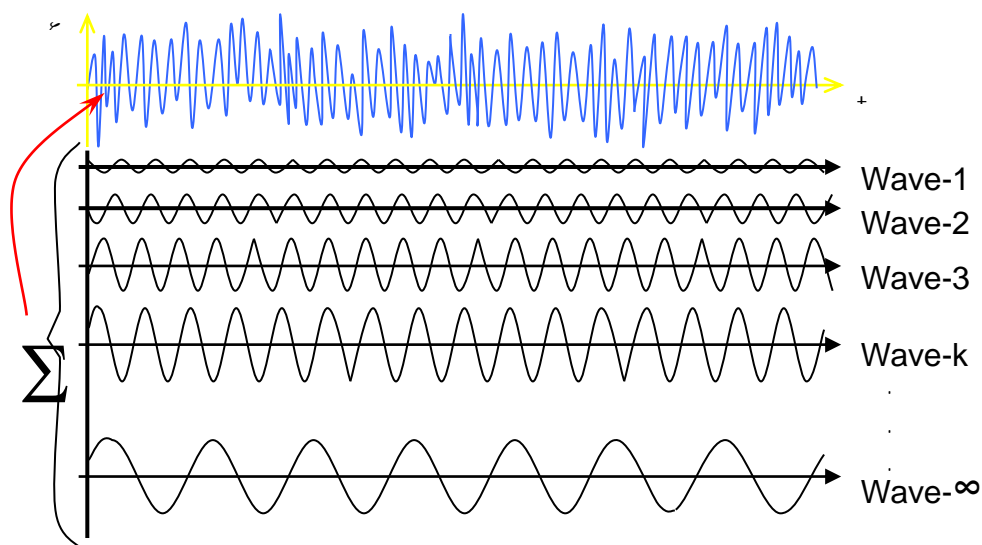
Dengan amplitude sebesar:

$$\xi_{n0} = \sqrt{(A_n^2 + B_n^2)} \quad (2.30)$$

serta sudut phase sebesar

$$\epsilon_n = a \tan\left(-\frac{B_n}{A_n}\right) \quad (2.31)$$

*fast furier transform* (FFT) biasanya digunakan untuk menganalisa *periodic phenomena*, dimana *periodic phenomena* itu sendiri bisa saja perionde dalam fungsi weaktu ataupun dalam fungsi tempat (Osgood,B)

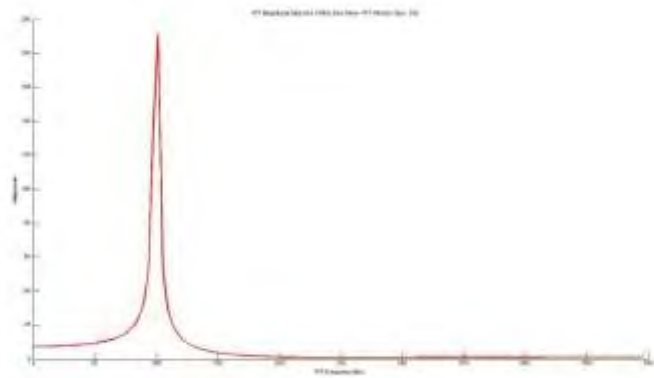


Gambar 2.25 : Gelombang acak terbentuk dari superposisi gelombang-gelombang regular dalam jumlah tak berhingga (Djatkiko, E. B. 2012)

Contoh khusus untuk fenomena waktu yakni jika kita mendirikan sebuah bangunan di lautan dana gelombang menabarak bangunan tersebut secara regular, berulang kali dengan pola puncak dan lembah. Satu gelombang tersebut terdiri dari berbagai gelombang reguler yang menyusunnya dengan jumlah yang tak berhingga seperti yang telah dijelaskan oleh

(Djarmiko, E. B. 2012). Dengan menggunakan analisa *fast furier transform* (FFT) dimaksudkan untuk mengetahui gelombang regular penyusun yang paling dominan dengan mengetahui frekuensi (Hz) setiap gelombang regular penyusunnya..

Grafik *fast furier transform* (FFT) nantinya akan berbentuk perbandingan antara sumbu y *magnitude* gelombang yang dibandingkan dengan sumbu x frekuensi gelombang. dengan membaca grafik tersebut dapat diketahui dari sekian banyak gelombang regular penyusun manakah yang paling dominan didalam gelombang tersebut.



Gambar 2.26 : Grafik FFT (*fast furier transform*)

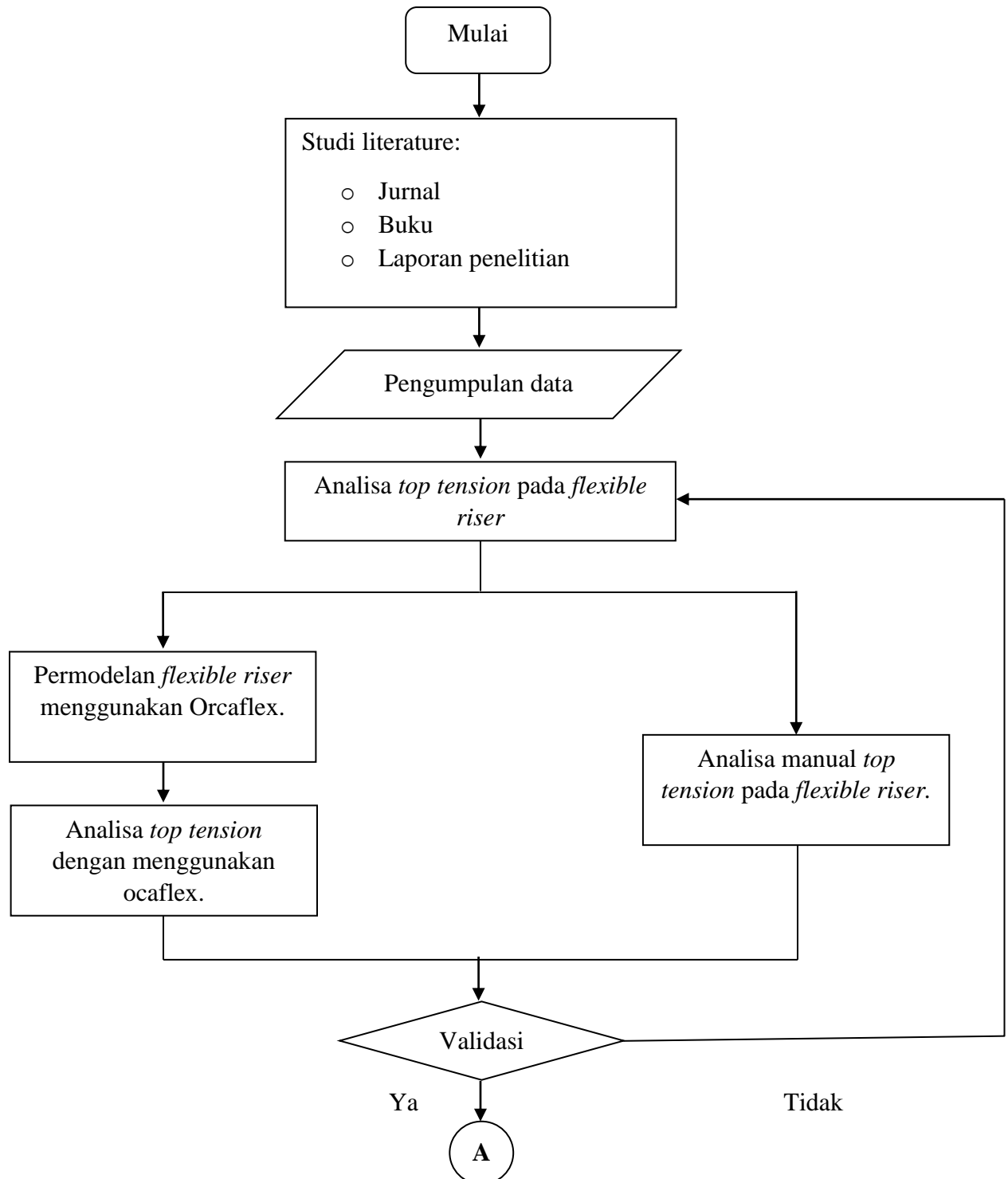
*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

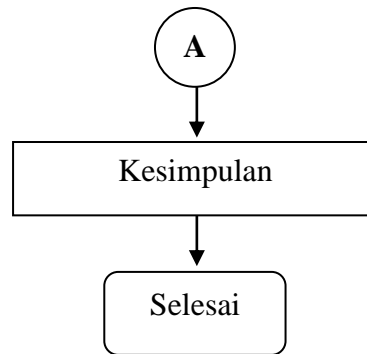
## BAB 3

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Diagram Alir

Diagram alir dalam melaksanakan pengerjaan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:





Gambar 3.1 : Diagram alir tugas akhir.

### 3.2 Penjelasan Diagram Alir

Berikut ini penjelasan dari diagram alir pengerjaan Tugas Akhir yang dilakukan :

1. Staudi literatur dan Pengumpulan data

Pengerjaan tugas akhir ini dimulai dengan mencari referensi dari berbagai sumber yang tepat baik berupa buku maupun jurnal. Dilanjutkan dengan pengupulan data model dari *longriser* yang memiliki sifat fleksibel yang nantinya akan digunakan dalam tugas akhir ini.

Tabel 3.1 : data model *flexible riser* dan parameter eksperiment (Huarte,2006)

<b>Eksperiment parameter</b>	<b>Symbol</b>	<b>Unit</b>	<b>Value</b>
Panjang <i>flexible riser</i>	L	m	13.12
<i>Section</i>			16
<i>Outer diameter</i>	OD/D	m	0.028
<i>Inner diameter</i>	ID	m	0.008
<i>Bending stiffness</i>	EI	Nm <sup>2</sup>	29.88
<i>Mass ratio</i>	$\mu$	-	3
<i>Tension at top</i>	$\tau_{top}$	N	350-2000
<i>Flow speed</i>	U	m/s	< 1
<i>Reynold number</i>	Re	-	2800-28000
<i>Damping ratio</i>	$\zeta$	-	0.0026-0.014
<i>natural frequency</i>	fn	Hz	0.4-1.1
<i>Coefficient drag</i>	C <sub>D</sub>	-	2.35
<i>massa jenis air laut</i>	$\rho$	Kg/m <sup>3</sup>	1025



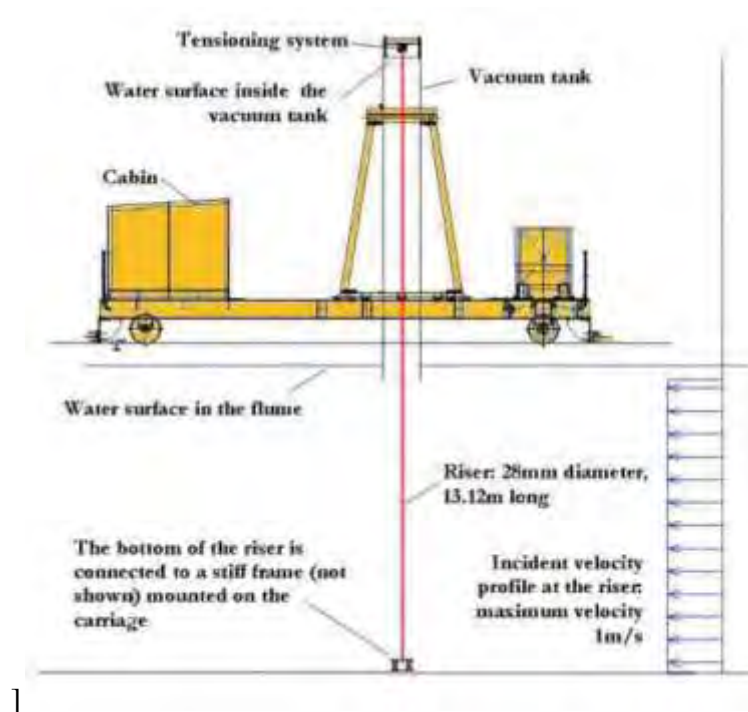
Tabel 3.1 : data model *flexible riser* dan parameter eksperiment Huarte,2006 (Lanjutan).

Eksperiment parameter	Symbol	Unit	Value
	$\pi$		3.14
Young Modulus	E	N/m <sup>2</sup>	845859.8726
Wall Cross Section Area	Ac	m <sup>2</sup>	0.0022608

Tabel 3.1 merupakan data model *riser* dengan memiliki sifat fleksibel yang akan digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini. Data tersebut didapatkan dari tesis milik Huarte pada tahun 2006 dengan judul “*Multi-mode Vortex-Induced Vibration of a Flexible Circular Cylinder*”.

## 2. Analisa top tension pada *riser*

Dalam analisis *top tension* pada *riser* yang bersifat fleksibel, model *riser* yang nantinya akan dianalisis pada tugas akhir ini akan dimodelkan dengan bentuk sebagai berikut.:



Gambar 3.2 : Permodelan *riser* yang akan dianalisis (Huarte,2006)



Gambar 3.3 : *riser detail* (Huarte,2006)

*riser* akan dimodelkan dalam posisi tegak lurus seperti pada gambar 3.2. Pada model *riser* menggunakan tumpuan *pin roll* pada kedua ujungnya, pada ujung bawah tumpuan *pin* dan ujung atas tumpuan *roll* disesuaikan dengan model *riser* pada tesis milik Huarte pada tahun 2006. Permodelan software *orcaflex* 9.2 nantinya akan menggunakan pilihan *anchored joint*. *Anchored joint* sendiri memiliki bentuk tumpuan koordinat x dan koordinat y relatif terhadap sumbu global, sedangkan untuk koordinat z relatif terhadap seabed level pada posisi (x, y).

Dalam melakukan analisa pada bagian ujung atas (*top tension*) *riser* dilakukan dengan dua cara, yakni dengan menggunakan software *orcaflex* 9.2a dan menggunakan penghitungan manual. Untuk penghitungan manual dilakukan dengan menggunakan metode iterasi Tmean pada rumus 2.21. Nantinya dalam analisa *top tension* akan divariasikan kecepatan arus dan *initial tension* (*Tint*) sesuai dengan data *riser* yang terdapat dalam table 3.1 milik Huarte, 2006. Variasi yang sama akan digunakan baik pada analisa manual maupun analisa menggunakan software *orcaflex* 9.2a. hasil validasi nilai tension ini yang akan dijadikan acuan dalam mencari besarnya tegangan pada bagian ujung model *riser*.

### 3. Validasi

Dengan menggunakan hasil dari tiga metode yakni eksperimen, penghitungan manual dan menggunakan software *orcaflex* 9.2a analisa *tension* pada model *riser* yang memiliki sifat fleksibel. Dari ketiga metode tersebut akan didapatkan tiga data yang akan dianalisa sekaligus dilakukn validasi hasil dari ketiga metode yang telah dilakukan.

Hasil nilai *top tension* yang didapatkan dari *software orcaflex 9.2a* dan penghitungan secara manual akan dilakukan validasi. Data hasil eksperimen pada tesis milik Huarte pada tahun 2006 nantinya akan digunakan menjadi data acuan validasi hasil penghitungan nilai *top tension* dengan menggunakan *software orcaflex 9.2* maupun penghitungan manual. Untuk perhitungan manual sebelumnya dilakukan validasi dengan hasil penghitungan pada jurnal '*Analytical solution of mean top tension of long flexible riser in modeling vortex-induced vibration*'.

#### 4. Kesimpulan

- ✓ Menghitung besarnya *tension* yang terjadi pada bagian ujung atas *long riser* yang bersifat fleksible akibat Vortex-induced vibration (VIV).
- ✓ Mengetahui hubungan antara *tension* pada ujung atas *long riser* yang bersifat fleksible dengan *reduced velocity* ( $V_t$ ) akibat variasi kecepatan aliran fluida dan Vortex-induced vibration (VIV).
- ✓ Mengetahui hubungan Inersia terhadap *tension* yang terjadi pada bagian atas model *riser* akibat Vortex-induced vibration (VIV).

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB 4

### ANALISIS DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Analisa Data

Dari studi literature didapatkan data-data yang dibutuhkan dalam mengerjakan tugas akhir ini. yang pertama adalah data model *riser* milik Huarte yang beliau gunakan pada tesisnya. Data model digunakan dalam pengujian eksperimen disebuah lab uji seperti *flume tank*.. Model *riser* ini merupakan model sederhana *riser* yang biasanya digunakan pada bangunan *tension leg platform* (TLP), *riser* pada *tension leg platform* (TLP) memiliki tingkat elastisitas yang lebih elastis dibandingkan dengan *riser* yang digunakan pada bangunan *fixed*.

Sedangkan untuk data-data lingkungan yang akan digunakan semuanya disesuaikan dengan data lingkungan oleh Huarte pada eksperimen beliau.

#### 4.2 Penghitungan Manual

Penghitungan manual dilakukan menggunakan rumus 2.21 yang ada pada jurnal milik Gu, j., Yi dkk. Penghitungan manual ini akan menggunakan empat *variasi initial tension* ( $\tau_{int}$ ) yaitu 810 N, 1175 N, 1538 N dan 1922 N. Masing-masing variasi initial tension akan dihitung menggunakan 20 variasi kecepatan arus yang telah disesuaikan yakni 0,05 m/s ; 0,1m/s ; 0,15m/s ; 0,2m/s ; 0,25m/s ; 0,3m/s ; 0,35m/s ; 0,4m/s ; 0,45m/s ; 0,5m/s ; 0,55m/s ; 0,6m/s ; 0,65m/s ; 0,7m/s ; 0,75m/s ; 0,8m/s ; 0,85m/s ; 0,9m/s ; 0,95 dan m/s ; 1m/s. hasil penghitungan manual tersebut nantinya akan dibandingkan dengan data hasil eksperimen milik Huarte.

Sebelumnya semua komponen dalam rumus 2.21 harus diketahui nilainya, seperti Inersia (I), Modulus Young (E), *Wall cross section are* ( $A_c$ ) dan frekuensi natural. Inersia yang dipakai adalah *second of inersia* dengan satuan ( $m^4$ ). untuk silinder berongga menggunakan rumus.

$$I = \frac{\pi((OD^4)-(ID^4))}{64} \quad (3.1)$$

$$I = \frac{3.14 ((0.028^4) - (0.008^4))}{64}$$

$$I = 0,0000353 \text{ (m}^4\text{)}$$

Kemudahan menggunakan nilai *bending stiffness* (EI) yang sudah diketahui dapat diperoleh nilai dari modulus young (E)

$$EI = I \times E$$

$$E = \frac{EI}{I}$$

$$E = \frac{29,88}{0,0000353}$$

$$E = 845859,873 \text{ (N/m}^2\text{)}$$

Sedangkan untuk penghitungan nilai *wall cross section area* (Ac) adalah sebagai berikut:

$$Ac = \pi((OD^2) - (ID^2))$$

$$Ac = 3.14((0.028^2)-(0.008^2))$$

$$Ac = 1,845 \text{ (m}^2\text{)}$$

Setelah semua komponen pada rumus *top tension* telah diketahui, maka penghitungan manual dapat dilakukan. Penghitungan dilakukan dengan menggunakan metode iterasi

$$\begin{aligned} T_{\text{mean}} &= 810 + \frac{((2777936.5 \times 0.0022608)(1025 \times (0.05^2) \times 0.028 \times 1.5 \times 13.12))}{16 (29.88 \times (3,14^2) + 810 \times (13.12^2))} \\ &= 810 + \frac{9358.532924}{2235575.502} \\ &= 810 + 0.004186 \\ &= 810.00416 \text{ (N)} \end{aligned}$$

Kemudian hasil yang didapatkan digunakan untuk mengisi Tmean pada penghitungan selanjutnya. Begitu seterusnya sampai semua variasi yang telah ditentukan. Ketika nilai

Tmean sudah diketahui, maka barulah mencari nilai *reduced velocity* ( $V_t$ ). Untuk menentukan nilai dari frekuensi natural ( $f_n$ ) untuk setiap variasi menggunakan data frekuensi natural pada experiment milik Huarte,2006. Kita dapat mengetahui nilai frekuensi natural dengan melihat hasil penghitungan Tmean yang telah dilakukan sebelumnya.

Tabel 4.1 : frekuensi natural dengan menggunakan metode eksperimen (Huarte,2006)

EXPERIMENTAL NATURAL FREQUENCIES											
Test	Mean $\overline{T}_t$	$f_1$	$f_2$	$f_3$	$f_4$	$f_5$	$f_6$	$f_7$	$f_8$	$f_9$	$f_{10}$
A000 May21	397.22	0.40003	0.85006	1.2801	1.7501	2.2268	2.7735	3.3302	3.9403	4.587	5.2504
B000 May21	428.00	0.48003	0.98007	1.4768	2.0535	2.5802	3.2502	4.5936	5.2804	6.0571	6.7438
B002 May16	812.96	0.6225	1.2961	1.9288	2.6125	3.2656	3.235	3.235	5.5108	6.2455	3.235
C001 May15	815.47	0.66323	1.3054	1.9476	2.6003	3.2846	4.0109	4.7163	5.4743	6.2322	7.0534
A002 May15	829.63	0.73692	1.4844	2.2108	3.0108	3.7267	4.6005	5.3479	6.2638	6.2428	6.2428
A001 May15	830.68	0.74497	1.4899	2.2043	3.0207	3.7555	4.5923	5.3577	6.2557	6.2557	7.0722
A001 May23	1050.10	0.9534	1.8801	2.8402	3.8103	4.787	5.8004	6.8171	7.8405	8.9573	10.034
C001 May19	1188.28	0.79059	1.5677	2.3853	3.1826	4.0003	4.8247	5.6963	6.5477	7.4532	7.9532
E001 May20	1534.68	0.90729	1.7864	2.7017	3.5889	4.5324	5.473	6.4277	7.4076	8.2463	7.3672
A004 May23	1676.40	1.2229	2.4144	3.6574	4.8546	6.1203	4.8546	8.6319	9.9406	11.301	12.595
E002 May22	1910.50	1.1334	2.3002	3.3969	4.617	5.717	6.9771	8.0872	9.3806	9.3673	9.354
B001 May26	1919.40	1.11	2.2544	3.3316	4.526	5.5832	5.4803	5.4632	5.4403	11.675	10.378

Kita dapat melihat dari tabel 4.1 merupakan hasil eksperimen Huarte nilai frekuensi natural untuk setiap *initial tension*, dikarenakan ada beberapa nilai frekuensi natural yang tidak konstan nilainya setiap perubahan *initial tension*, maka saya memutuskan untuk menggunakan nilai frekuensi natural ( $f_n$ ) milik huarte dengan menggunakan metode FEM. Sesuai pada tabel 4.2

Tabel 4.2 : frekuensi natural dengan menggunakan metode FEM (Huarte,2006)

NUMERICAL NATURAL FREQUENCIES (65 nodes)											
Test	Mean $\overline{T}_t$	$f_1$	$f_2$	$f_3$	$f_4$	$f_5$	$f_6$	$f_7$	$f_8$	$f_9$	$f_{10}$
A000 May21	397.22	0.42349	0.85503	1.3011	1.7685	2.2631	2.7903	3.3546	3.9602	4.6105	5.3085
B000 May21	428.00	0.44301	0.89361	1.3581	1.8429	2.3538	2.8961	3.4744	4.0928	4.7546	5.4631
B002 May16	812.96	0.65626	1.3173	1.9876	2.6716	3.3737	4.0979	4.8482	5.6281	6.4412	7.2903
C001 May15	815.47	0.66	1.32	1.99	2.67	3.37	4.10	4.85	5.63	6.44	7.29
A002 May15	829.63	0.66214	1.329	2.0051	2.6947	3.4023	4.1318	4.8871	5.672	6.4896	7.3432
A001 May15	830.68	0.6619	1.3286	2.0044	2.6938	3.4011	4.1304	4.8855	5.6701	6.4876	7.341
A001 May23	1050.10	0.75357	1.5113	2.277	3.0547	3.8482	4.6612	5.4972	6.3595	7.2514	8.1758
C001 May19	1188.28	0.80865	1.6211	2.4411	3.2722	4.1181	4.9822	5.8679	6.7783	7.7166	8.6856
E001 May20	1534.68	0.93	1.86	2.79	3.74	4.70	5.67	6.67	7.68	8.72	9.79
A004 May23	1676.40	0.9711	1.9454	2.9259	3.9157	4.9178	5.9353	6.9709	8.0275	9.1078	10.214
E002 May22	1910.50	1.039	2.0809	3.1286	4.1851	5.2531	6.3354	7.4348	8.5539	9.6953	10.861
B001 May26	1919.40	1.0418	2.0865	3.137	4.1962	5.2669	6.352	7.454	8.5757	9.7197	10.888

Dengan diketahuinya nilai dari frekuensi natura; untuk seitan nilai tension maka nilai *reduced velocity* dapat ditentukan

Tabel 4.3 : Nilai *top tension* pada setiap variasi *initial tesion*.

Initial Tension (N)	U (m/s)	Vt (m/s)	$\tau_{\text{mean}}$ (N)
810	0.05	2.75	810.00
	0.1	5.49	810.07
	0.15	8.24	810.34
	0.2	10.99	811.07
	0.25	13.74	812.61
	0.3	16.48	815.41
	0.35	19.23	819.98
	0.4	21.65	826.94
	0.45	23.99	836.90
	0.5	25.88	850.52
	0.55	27.28	868.38
	0.6	28.96	890.98
	0.65	30.95	918.72
	0.7	32.47	951.82
	0.75	34.79	990.41
	0.8	37.11	1034.46
	0.85	39.42	1083.90
	0.9	41.74	1138.58
	0.95	44.06	1198.35
	1	46.38	1263.04

Initial Tension (N)	U (m/s)	Vt (m/s)	$\tau_{\text{mean}}$ (N)
1538	0.05	1.92	1539.99
	0.1	3.84	1538.04
	0.15	5.76	1538.18
	0.2	7.68	1538.56
	0.25	9.60	1539.38
	0.3	11.52	1540.86
	0.35	13.44	1543.29
	0.4	15.36	1547.01
	0.45	17.28	1552.40
	0.5	19.20	1559.86
	0.55	21.12	1569.86
	0.6	22.56	1582.83
	0.65	24.44	1599.25
	0.7	26.04	1619.54
	0.75	27.90	1644.10
	0.8	29.46	1673.31
	0.85	30.98	1707.43
	0.9	32.47	1746.70
	0.95	33.93	1791.27
	1	35.71	1841.22

Initial Tension (N)	U (m/s)	Vt (m/s)	$\tau_{\text{mean}}$ (N)
1175	0.05	2.23	1176.985
	0.1	4.46	1175.046
	0.15	6.70	1175.234
	0.2	8.93	1175.739
	0.25	11.16	1176.804
	0.3	13.39	1178.737
	0.35	15.63	1181.911

Initial Tension (N)	U (m/s)	Vt (m/s)	$\tau_{\text{mean}}$ (N)
1922	0.05	1.72	1922.002
	0.1	3.43	1922.028
	0.15	5.15	1922.143
	0.2	6.87	1922.452
	0.25	8.59	1923.104
	0.3	10.30	1924.288
	0.35	12.02	1926.236



	0.4	17.86	1186.759
	0.45	20.09	1193.759
	0.5	22.32	1203.424
	0.55	24.25	1216.281

	0.4	13.35	1929.219
	0.45	14.48	1933.546
	0.5	16.09	1939.558
	0.55	17.70	1947.627

Tabel 4.3 : Nilai *top tension* pada setiap variasi *initial tesion* (lanjutan).

Initial Tension (N)	U (m/s)	Vt (m/s)	$\tau_{mean}$ (N)
1175	0.6	26.13	1232.85
	0.65	27.64	1253.611
	0.7	29.07	1278.987
	0.75	30.79	1309.319
	0.8	32.47	1344.858
	0.85	34.11	1385.759
	0.9	35.71	1432.091
	0.95	37.28	1483.848
	1	38.40	1540.974

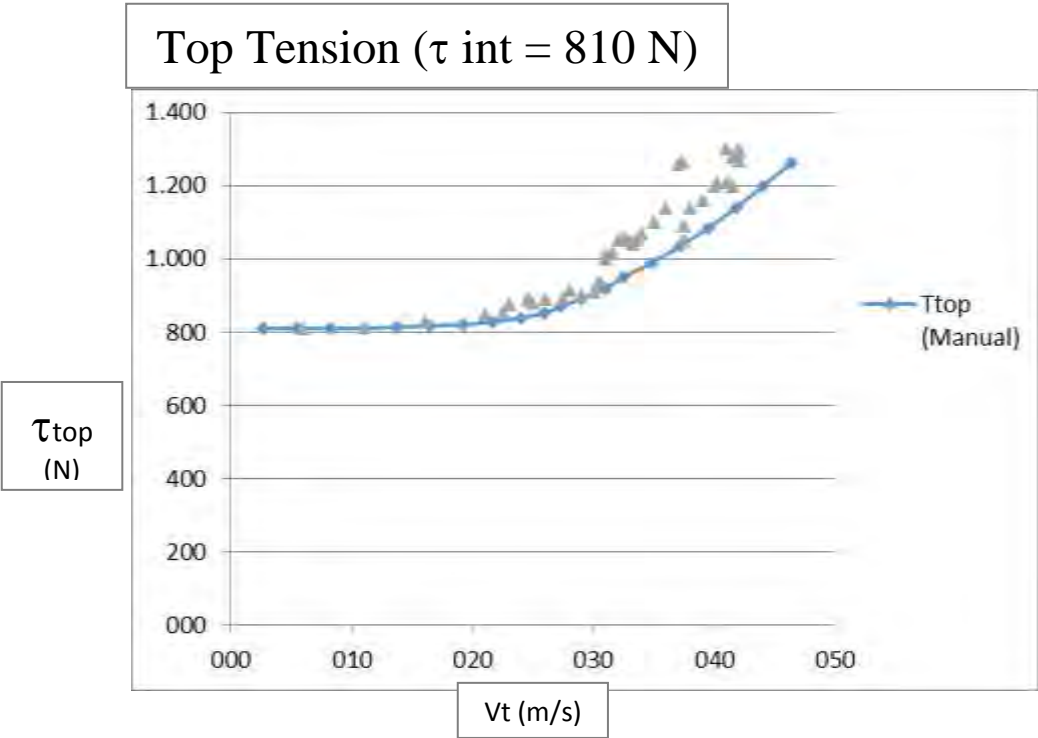
Initial Tension (N)	U (m/s)	Vt (m/s)	$\tau_{mean}$ (N)
1922	0.6	19.31	1958.146
	0.65	20.91	1971.519
	0.7	22.52	1988.154
	0.75	23.92	2008.449
	0.8	25.28	2032.782
	0.85	26.63	2061.495
	0.9	27.95	2094.889
	0.95	29.25	2133.212
	1	30.53	2176.658

Tabel 4.3 merupakan hasil penghitungan manual untuk setiap variasi yang telah ditentukan sebelumnya. Dapat dilihat bahwa setiap variasi memiliki nilai *reduced velocity* ( $V_t$ ) yang berbeda beda. Besarnya *reduced velocity* ( $V_t$ ) dipengaruhi oleh kecepatan arus ( $U$ ), frekuensi natural ( $f_n$ ) dan diameter struktur ( $D$ )

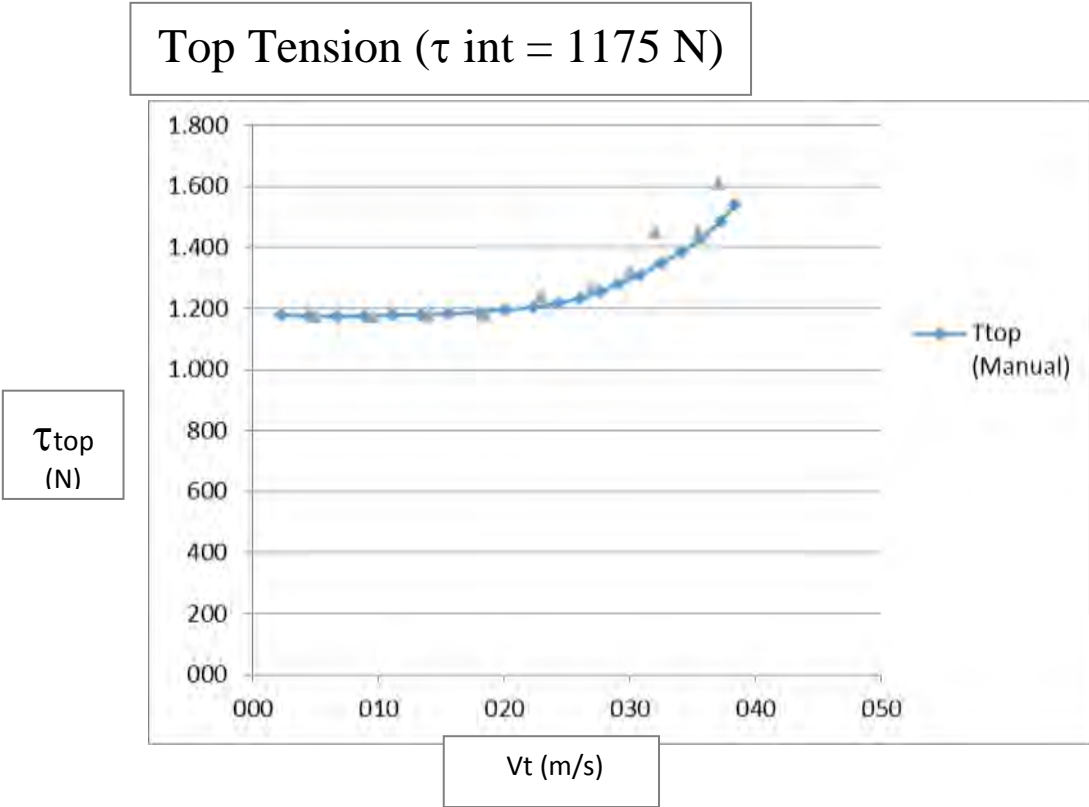
Untuk pengecekan apakah penghitungan di atas sudah benar atau tidak dilakukan perbandingan hasil dengan metode lain. Untuk tugas akhir ini data acuan yang digunakan sebagai validator adalah data hasil eksperimen milik Huarte. Persamaan 2.21 yang digunakan untuk mencari nilai *top tension* yang dimaksud adalah nilai *meantop tension* (*top tension* rata-rata).

Hasil penghitungan pada tabel 4.3 diubah dalam bentuk grafik yang membandingkan antara tegangan pada bagian ujung atas *riser* ( $T_{top}$ ) pada sumbu x dengan *reduced velocity* ( $V_t$ ) pada sumbu y. Data hasil experiment milik Huarte juga dimasukan pada grafik

sehingga dapat dilakukan perbandingan (Validasi) antara hasil perhitungan manual dengan hasil eksperimen.

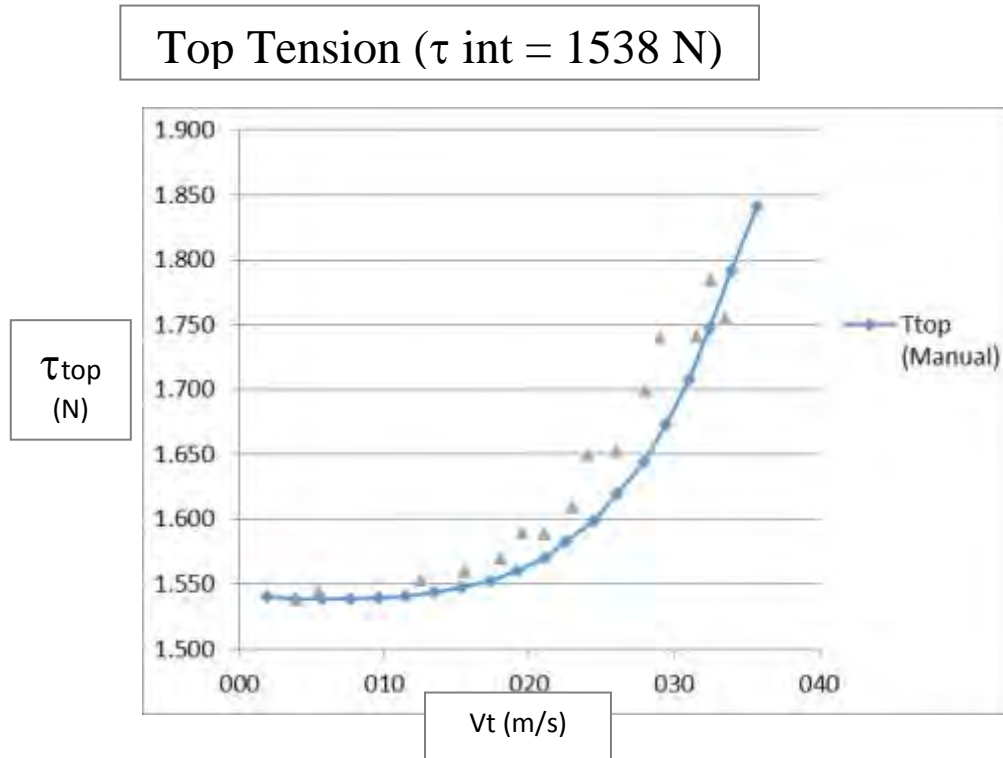


(a)

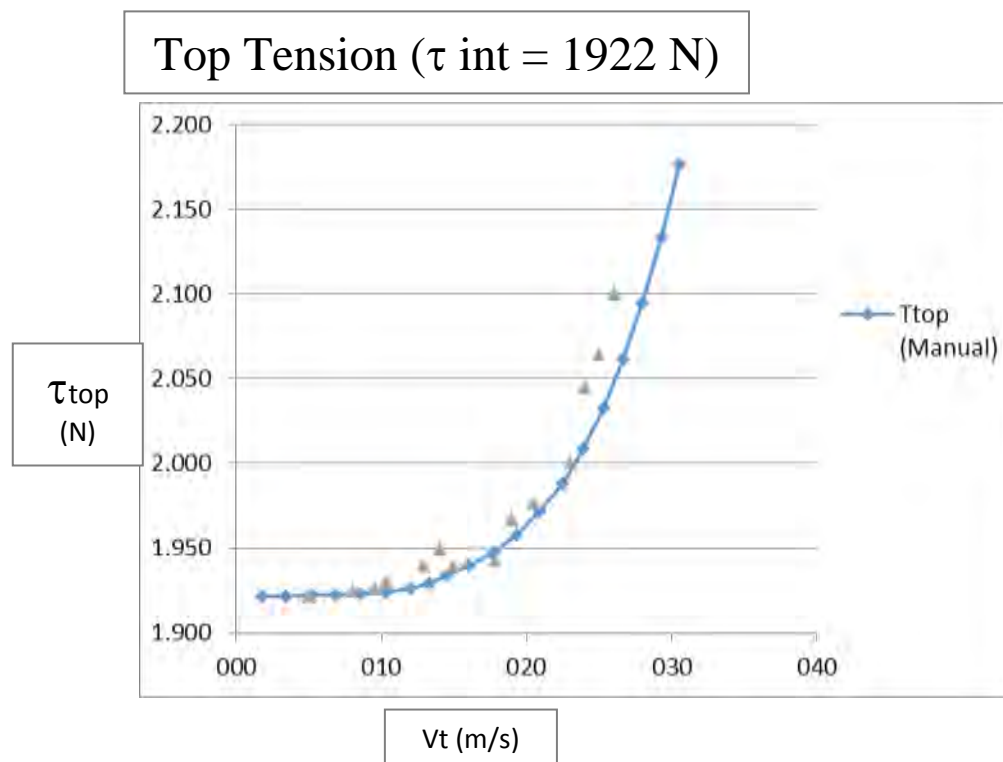


(b)

Gambar 4.1 : Grafik perbandingan hasil penghitungan manual dengan nilai pada jurnal untuk setiap variasi *top tension* a) 810 N; b) 1175 N; c) 1538 N ;d) 1922 N.



(c)



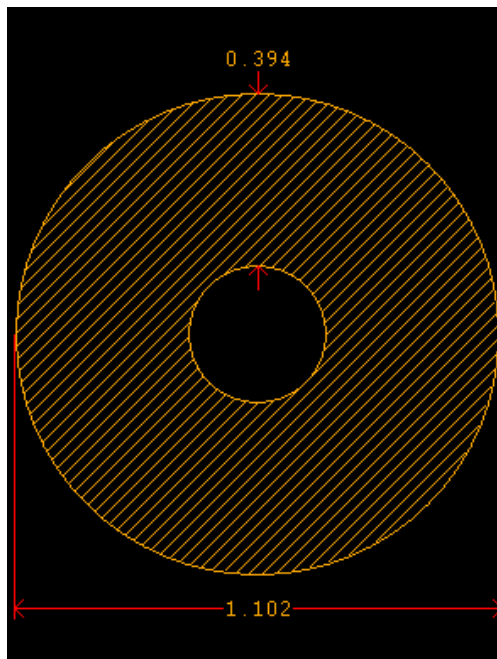
(d)

Gambar 4.1 : Grafik perbandingan hasil penghitungan manual dengan nilai pada jurnal untuk setiap variasi top tension a) 810 N; b) 1175 N; c) 1538 N ;d) 1922 N. (Lanjutan 2)

Dari grafik diatas dapat diketahui bahwa nilai hasil penghitungan manual yang telah dilakukan memiliki trend yang sama dengan data hasil eksperimen. Nilai yang dihasilkan oleh penghitungan manual ini sudah mendekati nilai yang ada pada data hasil eksperimen milik Huarte. Sehingga dapat disimpulkan bahwa penghitungan manual ini dapat dipakai dalam pengerjaan tugas akhir ini.

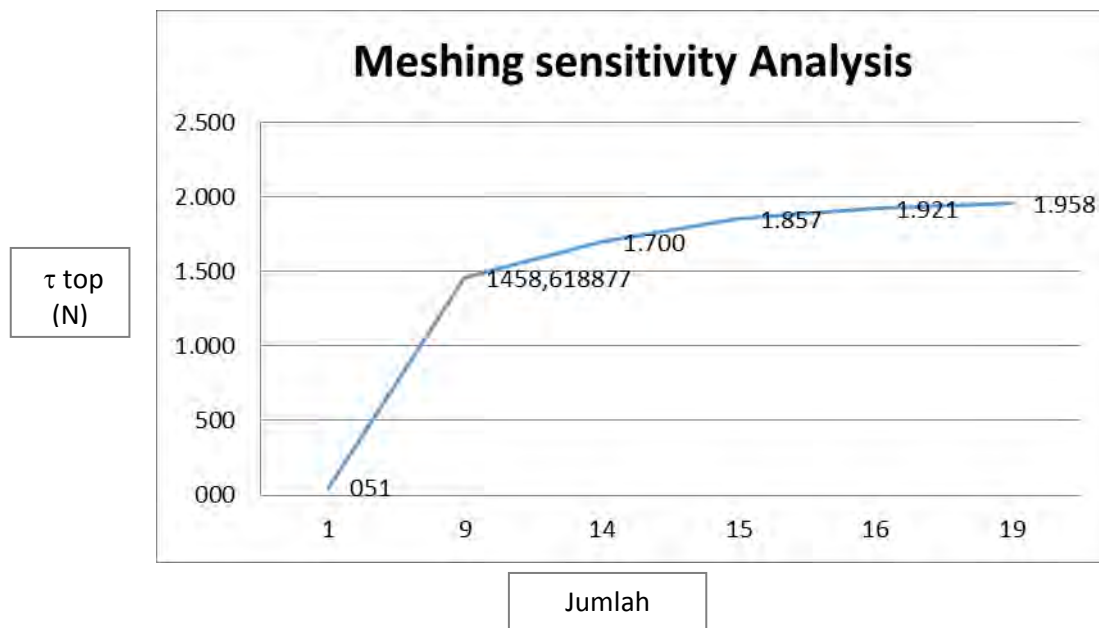
#### 4.3 Permodelan Struktur *Riser*

Permodelan struktur *riser* pada tugas akhir ini akan menggunakan *software Orcaflex 9.2a*. Permodelan akan dilakukan sesuai dengan data model *riser* yang digunakan oleh Huarte pada saat melakukan ekperimennya. Dengan *Outer diameter* 0,028 m atau setara dengan 1,102 in, dan dengan *imner diameter* 0.008 m atau setara dengan 0,31 in berikut adalah bentuk permodelan *riser*. Meskipun tidaksepenuhnya sama dengan model *riser* ekperimen pada gambar 3.3, tetapi setidaknya *Outer diameter danimner diameter* sudah disamakan dengan ukuran pada jurnal yang digunakan untuk metode penghitungan manual.



Gambar 4.2 :Diameter permodelan struktur *riser*.

Pada data jurnal yang menjadi acuan permodelan *riser* terbagi menjadi 16 bagian, setiap bagian memiliki panjang 0,82 m dan jika di jumlahkan panjang seluruhnya menjadi 13.12 m. Sebelum melakukan data tersebut dipakai sebaiknya dilakukan *mesh sensitivity analysis*. Analisis ini dibutuhkan untuk melakukan *mesh* pada suatu elemen. Digambarkan pada suatu grafik dimana sumbu x terdefinisi sebagai banyaknya elemen *mesh* (*Section*) dan sumbu y adalah *output top tension* pada *orcaflex 9.2a*. Luasan *mesh* (*section*) mesh didapatkan ketika angka tegangan sudah menunjukkan nilai yang mulai konstan.

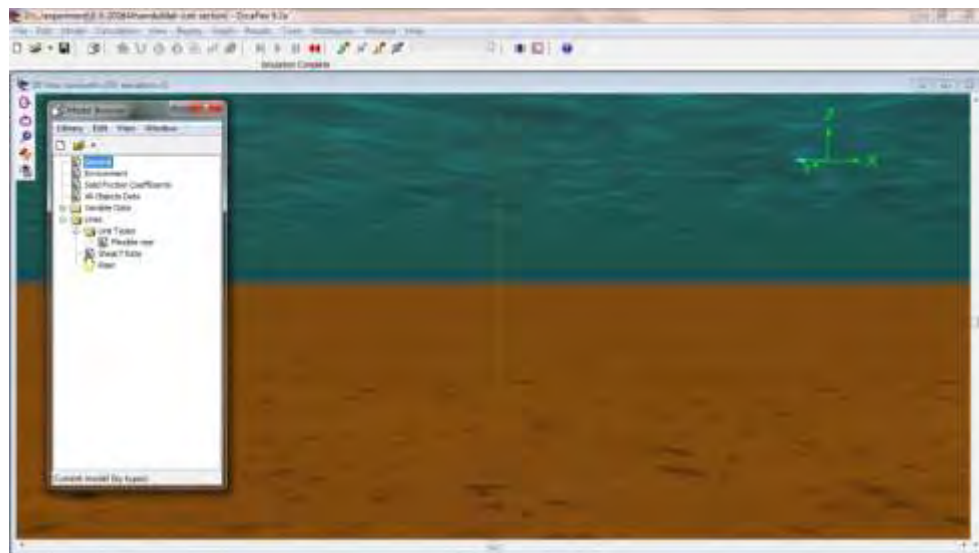


Gambar 4.3 : Grafik perbandingan nilai *top tension* dengan jumlah elemen (*mesh*)

Model *riser* ini memiliki *Bending stiffness* (EI) sebesar 29,88 Nm<sup>2</sup>, dimana E adalah *Young's modulus* dan I adalah inersia. Besarnya *initial tension* (Tint) diatur antara 350 N sampai 2000 N, pada tugas akhir ini kan menggunakan 4 variasi *initial tension* (Tint) yakni 810 N, 1175 N, 1538 N dan 1922 N. Karena itu frekuensi natural riser diatur juga antara 0.4 Hz sampai 11 Hz, Frekuensi natural yang dipakai disesuaikan data hasil eksperimen milik Huarte. Sesuai dengan model riser yang digunakan pada eksperimen milik Huarte, Ujung *riser* akan menggunakan tumpuan *pin* pada bagian ujung bawah dan tumpuan *roll* pada bagian ujung atas. Pada *software orcaflex 9.2a* terdapat tiga pilihan tumpuan yang dapat diilih yakni *fix*, *anchored* dan *free*, berikut adalah pengertian tiap pilihan joint tersebut:

- ✓ *Fix joint* , didefinisikan bahwa koordinat titik/tumpuannya relatif terhadap sumbu global.
- ✓ *Anchored joint* , didefinisikan bahwa koordinat x dan koordinat y relatif terhadap sumbu global, sedangkan untuk koordinat z relatif terhadap *seabed level* pada posisi (x, y).
- ✓ *Free joint* , didefinisikan bahwa koordinat titik kesetimbangan (*equilibrium position*) dari riser relative terhadap sumbu global.

Dari ketiga pilihan jenis tumpuan tersebut yang paling mendekati pada tumpuan *pin* adalah *anchored joint*, sedangkan *anchored joint* jika digunakan pada bagian atas *riser* akan bertindak menjadi tumpuan *roll*. maka dari itu pada model riser digunakan *anchored joint* pada kedua ujungnya. Gambar permodelan riser menggunakan *software Orcaflex 9.2a* dapat dilihat pada gambar 4.4 .

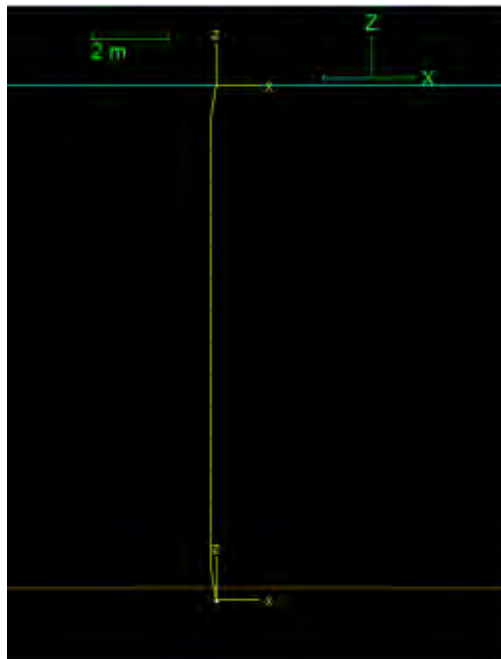


Gambar 4.4 : Permodelan *riser* pada *software Orcaflex 9.2a*

Sebenarnya tumpuan yang dipakai pada model *riser orcaflex 9.2a* adalah tumpuan pin pada bagian bawah dan roll pada bagian atas. Tetapi karena terbatasnya pilihan joint pada *software orcaflex9.2a* maka digunakan *anchored joint* pada kedua sisinya. Berdasarkan model pada gambar 4.4, kemudian model tersebut dilakukan *running* statis dan dinamis pada *software Orcaflex 9.2a*. Model akan di *running* dengan menggunakan empat variasi *initial tension* yakni yang telah disebutkan sebelumnya. Empat variasi tersebut akan di *running* dengan masing-masing menggunakan 20 variasi kecepatan arus yang disesuaikan dengan penghitungan manual sebelumnya. Jumlah keseluruhan ada 80 kali *running* yang akan dilakukan.

Pertama yang dilakukan adalah melakukan *running* statis pada *orcaflex* 9.2a. Yang dimaksud dengan *running* statis adalah *running* beban internal yang terjadi pada mode *riser* seperti *initial tension* ( $t_{int}$ ). Masukkan nilai *initial tension* dan kecepatan arus yang akan dipakai sebelumnya. Kemudian lakukan *running* statis. Baru setelah *running* statis selesai maka *running* dinamis bisa dilakukan.

Jika *running* statis berhasil dan sudah tidak terdapat *error*, maka baru bisa dilanjutkan pada *running* dinamis. *Running* dinamis sendiri dilakukan dengan memperhitungkan gaya eksternal berupa gelombang, arus ataupun angin. Komponen dinamis yang digunakan pada tugas akhir ini adalah variasi kecepatan arus ( $U$ ). Berikut bentuk model setelah dilakukan *running* statis dan dinamis pada *orcaflex* 9.2a.



Gambar 4.5 : Posisi *riser* setelah dilakukan *running* statis dan dinamis untuk;  $t_{int} = 1538$  N,  $u = 0,55$  m/s.

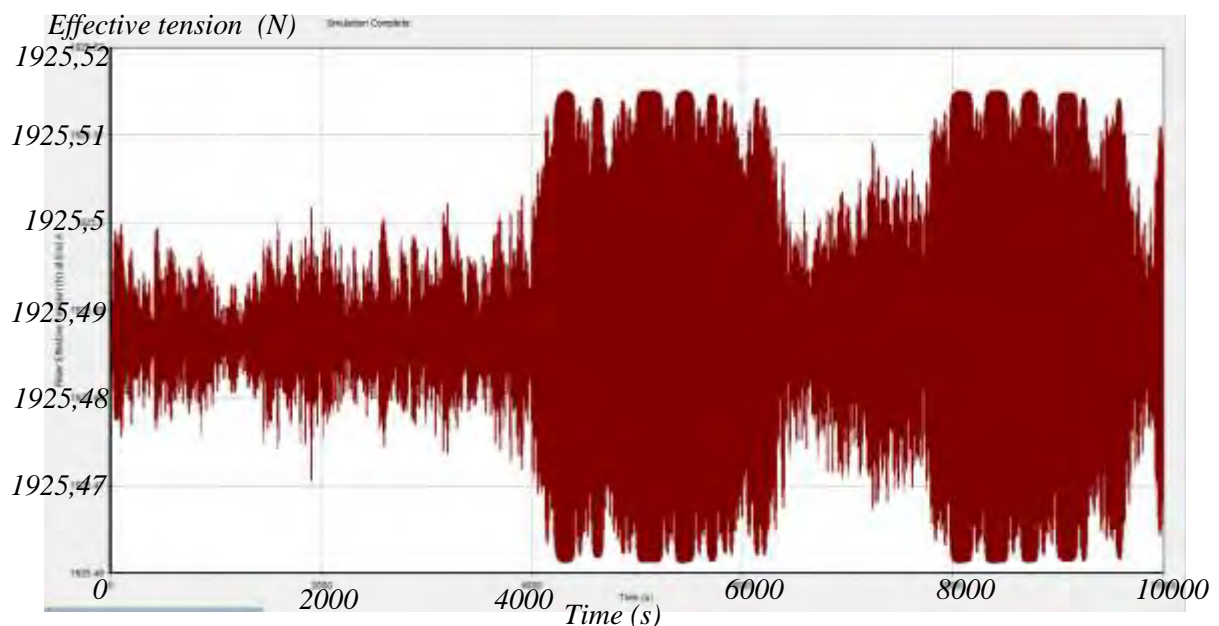
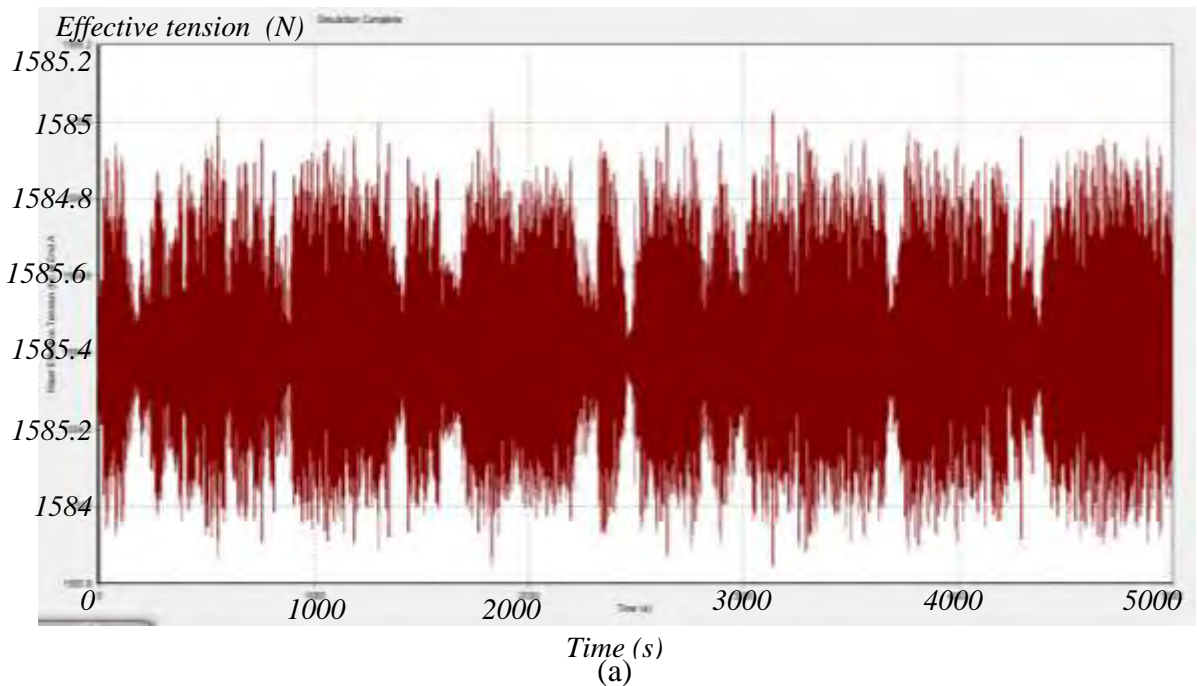
Jika kedua *running* sukses barulah *output* dari *software orcaflex* bisa dilihat dan analisa. Dari *output* inilah dapat diketahui besarnya tegangan pada bagian ujung atas model *riser* beserta data yang dibutuhkan lainnya.

#### 4.4 Analisa Time Domain

Analisa *time domain* merupakan analisa data, fungsi ataupun sinyal yang akan berhubungan dengan fungsi waktu. Dalam tugas akhir ini analisa *time domain* digunakan pada pengujian nilai *top tension*. Model *riser* akan di *running* dengan waktu yang ditentukan

sampai pola grafik *top tension* sudah mulai terlihat ataupun ketikan grafik mulai dalam keadaan stabil.

Dalam pengerjaan telah dibatasi menjadi 3 fungsi waktu yakni 100, 5000 dan 10000 detik. Itu artinya jika pada running 100 detik grafik masih terlihat terlalu acak maka akan dilanjutkan dengan running 5000 detik. Begitu pula jika pada running 5000 detik belum terlihat pola atau belum stabil maka akan di lanjutkan sampai 10000 detik. Perlakuan tersebut terus dilakukan untuk semua variasi yang digunakan. Pada gambar 4.6 merupakan contoh grafik yang mulai stabil dan telah terlihat pola dari grafik tersebut.





(b)

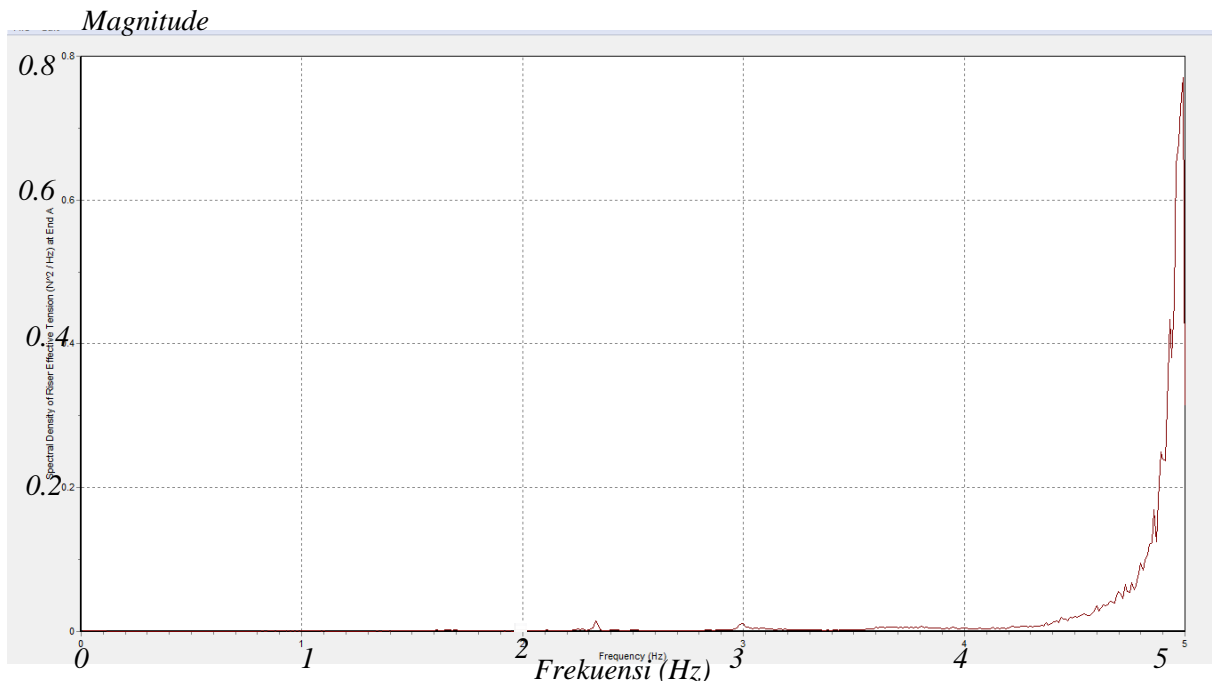
Gambar 4.6 : Grafik *output time domain* orcaflex 9.2a untuk a).  $\tau_{int}=1538$  N,  $V_t= 21,12$  m/s dan  $t= 5000$  s ; b)  $\tau_{int}=1922$  N,  $V_t= 8,59$  m/s dan  $t= 10000$  s.

Dapat diketahui pada grafik tersebut besarnya *effective tension* disetiap fungsi waktu. Rata-rata dari 80 hasil *running* grafik *time domain* yang didapat sudah dalam keadaan stabil dan mulai terlihat pola grafik tersebut. jika grafik *time domain* telah didapatkan, maka langkah selanjutnya adalah melakukan analisa *fast furrier transform* (FFT).

#### 4.5 Fast Furier Transform (FFT)

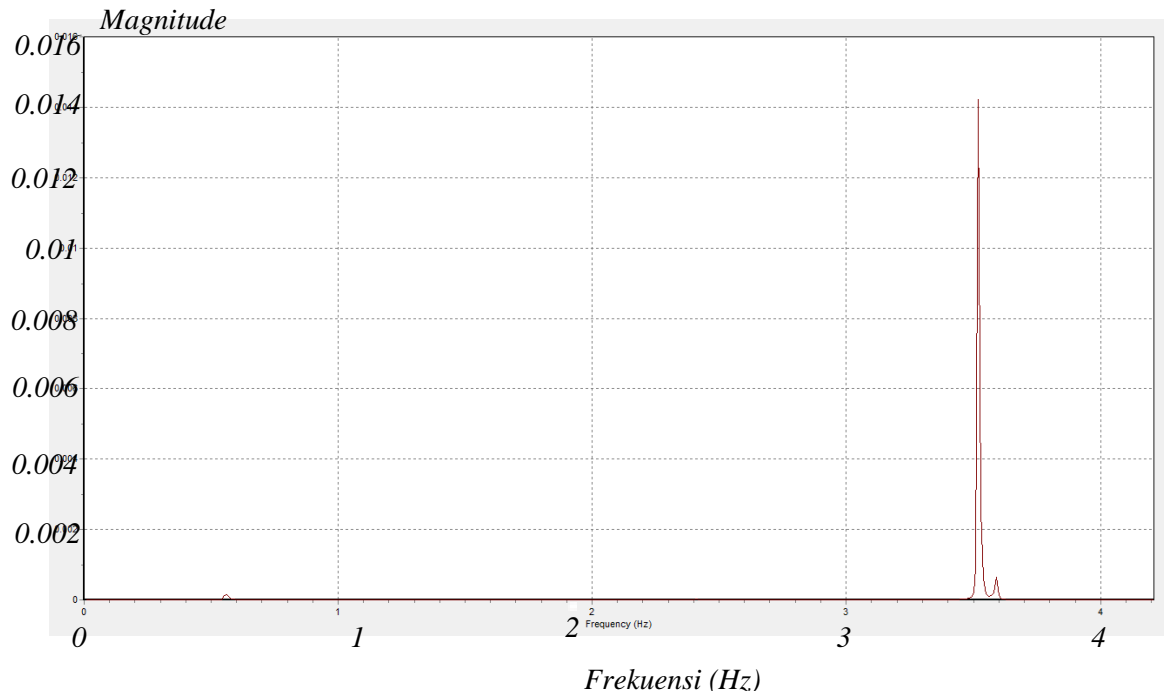
*fast furier transform* (FFT) didalam tugas akhir ini digunakan untuk mengetahui fekuensi dominan dari sebuah gelombang acak dari grafik output analisa *time domain* untuk nilai *effective top tension* (Gambar 4.6). Karena pada dasarnya gelombang acak tersusun dari superposisi gelombang-gelombang reguler dalam jumlah yang besar, yang secara teoritis bisa mencapai jumlah yang tidak terhingga.

Untuk mendapatkan grafik *fast furier transform* (FFT) dapat dilihat dari salah satu *output* hasil *running time domain* pada *orcaflex*.



(a)

Gambar 4.7 : Grafik fast furier transform (FFT) untuk a)  $\tau_{int}=1538$  N,  $V_t= 21,12$  m/s dan  $t= 5000$  s; b)  $\tau_{int}=1922$  N,  $V_t= 8,59$  m/s dan  $t= 10000$  s



(b)

Gambar 4.7 : Grafik fast furier transform (FFT) untuk a)  $\tau_{int}=1538$  N,  $V_t= 21,12$ m/s dan  $t= 5000$  s; b)  $\tau_{int}=1922$  N,  $V_t= 8,59$ m/s dan  $t= 10000$  s (lanjutan)

Grafik *fast furier transform* (FFT) merupakan perbandingan dari frekuensi dengan jumlah dari gelombang tersebut. Dari gambar 4.7 dapat diketahui bahwa pada hasil *grafik time domain* pengukuran nilai *top tension* untuk  $T_{int} = 1538$  N;  $V_t = 21,12$  dan  $t = 5000$ s (gambar 4.7 a) memiliki frekuensi dominan  $f = 4,9$  Hz, atau dapat dibaca periode gelombang dominan adalah  $0,204$  s ( $T = 1/f$ ). sedangkan untuk  $T_{int}=1922$  N,  $V_r= 8,59$  m/s dan  $t= 10000$  s (gambar 4.7 b) memiliki frekuensi dominan  $f = 3,52$  Hz atau dapat dibaca periode gelombang dominannya adalah  $0.29$  s ( $T = 1/f$ ). dan seterusnya untuk 80 variasi yang dilakukan analisa fast furier transform (FFT).

#### 4.6 Analisa Output Orcalflex 9.2a

Dalam *software Orcalflex 9.2a* memiliki berbagai macam jenis *output*, salah satunya *Orcalflex 9.2a* juga dapat menampilkan *output* berupa tabel nilai minimum, maksimum, rata-rata dan standar deviasi. Dari sekian banyak data *tension* yang didapat pada *running analisa time domain*, *Orcalflex 9.2a* dapat membaginya menjadi nilai minimum, maksimum, rata-rata serta standar deviasi. Tetapi *Orcalflex 9.2a* tidak mengeluarkan *output* berupa nilai *root mean square* (RMS). Secara sederhana *root mean square* (RMS)

dapat didefinisikan adalah akar dari nilai rata-rata dari suatu fungsi yang dikuadratkan. *root mean square* dalam tugas akhir ini digunakan untuk mengetahui nilai rata-rata dari osilasinya (mengetahui nilai rata-rata yang lebih spesifik). Maka dari itu harus dicari secara manual.

Ada beberapa cara untuk menghitung *root mean square* (RMS), melihat hasil *outputan* dari hasil *running Orcaflex 9.2a* maka dapat menggunakan persamaan:

$$RMS^2 = (\text{mean})^2 + (\text{standar deviasi})^2 \quad (4.1)$$

Persamaan 4.1 akan digunakan untuk mencari nilai *root mean square* (RMS) pada setiap hasil yang didapatkan. Berikut tabel 4.4 merupakan salah satu contoh tabel *output* untuk analisa *top tension* pada *software orcaflex*.

Tabel 4.4 : Hasil *output running orcaflex 9.2a* pada model *riser* untuk  $\tau_{int}=1538$  N,  $V_t=21,12$  m/s dan  $t=5000$  s.

U (m/s)	V <sub>t</sub> (m/s)	Period (s)		Minimum		Maximum		Mean	Standard Deviation
		From	To		Time		Time		
0.55	21.12	-10	5000	1583.84	1824.7	1585.03	1824.6	1584.4	0.2987

Dari *output software orcaflex* pada tabel 4.4 barulah dapat dicari nilai dari *root mean square* (RMS). Berikut salah satu proses penghitungan nilai *root mean square* (RMS) untuk  $\tau_{int}=1538$  N,  $V_t=21,12$  m/s dan  $t=5000$  s menggunakan tabel hasil *running* diatas ,.

$$RMS^2 = (\text{mean})^2 + (\text{standar deviasi})^2$$

$$RMS = \sqrt{(\text{mean})^2 + (\text{Standar deviasi})^2}$$

$$RMS = \sqrt{(1566,78)^2 + (0,37)^2}$$

$$RMS = \sqrt{2452799,57 + 0.14}$$

$$RMS = \sqrt{2452799,71}$$

$$RMS = 1566,78$$

Penghitungan diatas terus digunakan untuk 80 variasi yang telah ditentukan sebelumnya. Berikut pada tabel 4.5 merupakan hasil *output software orcaflex 9.2a* untuk  $T_{int} = 810$  N dengan variasi kecepatan arus ( $u$ ) yang telah disatukan.

Tabel 4.5 : Hasil *output running orcaflex 9.2a* pada model *riser* untuk  $T_{int} = 1538$  N pada setiap variasi kecepatan arus ( $u$ ).

U (m/s)	Vt (m/s)	Period (s)		Minimum Time		Maximum Time		Mean	Standard Deviation	RMS
		From	To							
0.05	1.92	-10	100	1530.91	82.4	1530.91	0.00	1530.91	0.0002	1530.91
0.1	3.84	-10	100	1532.24	39	1532.24	48.5	1532.24	0.0001	1532.24
0.15	5.76	-10	10000	1534.45	3310.4	1534.47	3310.6	1534.46	0.0043	1534.46
0.2	7.68	-10	10000	1537.53	753.8	1537.61	754	1537.57	0.0070	1537.57
0.25	9.60	-10	5000	1541.55	4792.5	1541.59	4399.5	1541.57	0.0068	1541.57
0.3	11.52	-10	5000	1546.42	440.6	1546.55	4721.7	1546.48	0.0416	1546.48
0.35	13.44	-10	100	1552.24	2.4	1555.88	52.1	1554.23	1.4422	1554.23
0.4	15.36	-10	100	1558.91	0.00	1565.17	29.3	1562.61	2.3379	1562.62
0.45	17.28	-10	5000	1566.35	3328.6	1567.30	774.9	1566.78	0.3724	1566.78
0.5	19.20	-10	5000	1574.72	4925.9	1575.45	4925.8	1575.05	0.2189	1575.05
0.55	21.12	-10	5000	1583.84	1824.7	1585.03	1824.6	1584.41	0.2987	1584.41
0.6	22.56	-10	5000	1634.52	1695.4	1635.43	1695.3	1634.94	0.2583	1634.94
0.65	24.44	-10	5000	1652.35	40.6	1654.92	40.9	1653.56	0.9864	1653.56
0.7	26.04	-10	100	1671.17	0.1	1698.33	12	1686.49	11.4264	1686.53
0.75	27.90	-10	100	1738.06	0.1	1784.17	11.4	1763.78	19.7550	1763.89
0.8	29.46	-10	100	1778.86	0.1	1830.26	5.2	1806.41	23.1257	1806.56

Tabel 4.5 : Hasil *output running orcaflex 9.2a* pada model *riser* untuk  $T_{int} = 1538$  N pada setiap variasi kecepatan arus ( $u$ ). (Lanjutan)

U (m/s)	Vt (m/s)	Period (s) From To		Minimum	Time	Maximum	Time	Mean	Standard Deviation	RMS
0.85	30.98	-10	100	1881.29	18.6	1923.98	18.7	1902.95	20.0232	1903.06
0.9	32.47	-10	100	2025.74	97.2	2036.32	99.1	2030.74	4.5863	2030.75
0.95	33.93	-10	5000	2131.38	4151.8	2139.30	4151.7	2135.06	2.5586	2135.06
1	35.71	-10	100	2198.41	54.1	2219.07	4.4	2208.56	9.8477	2208.58

Tabel lebih lengkapnya untuk 3 variasi *initial tension* ( $T_{int}$ ) yang lain dapat dilihat pada lampiran. Sedangkan untuk mengetahui nilai *effective tension* pada ujung atas model raiser, kita dapat membaca tabel *output effective tension* pada setiap panjang *riser* disesuaikan dengan jumlah segmen *riser* yang telah diatur. Sudah dibahas sebelumnya bahwa model riser yang digunakan dibagi menjadi 16 segmen, itu berarti *effective tension* pada setiap pembagian segmen dapat diketahui. Berikut contoh hasil *output effective tension*:

Tabel 4.6 : Tabel *output effective tension* pada *software orcaflex 9.2aa*)  $T_{int} = 1538$  N,  $V_t = 21,12$  dan  $t = 5000$  s

OrcaFlex 9.2a: 5-5-2016Alhamdulillah (Anchored 1538) 0.45.sim (modified 2:50 PM on 6/20/2016 by OrcaFlex 9.2a)

Column A: Arc Length (m)  
Other columns: Riser Effective Tension (N)  
Period:  $t = -10.000$  to  $5000.000$ s

Arc Length (m)	Minimum	Maximum	Mean	Std. Dev.	Allowable Tension	Compression Limit
0	1566.346	1567.299	1566.78	0.372408	~	-12018.7124

0.419197931	23548.17	23551.69	23549.8	1.221203	~	-12018.7124
1.257593793	23726.87	23730.38	23728.49	1.220364	~	-12018.7124
2.095989655	23692.79	23696.3	23694.42	1.225597	~	-12018.7124

Tabel 4.6 : Tabel *output effective tension* pada *software orcaflex 9.2aa*)  $T_{int}=1538$  N,  $V_t=21,12$  dan  $t= 5000$  s (Lanjutan)

Arc Length (m)	Minimum	Maximum	Mean	Std. Dev.	Allowable Tension	Compression Limit
2.934385518	23658.24	23661.76	23659.87	1.229859	~	-12018.7124
3.77278138	23623.69	23627.21	23625.32	1.233245	~	-12018.7124
4.611177242	23589.14	23592.66	23590.76	1.235856	~	-12018.7124
5.449573104	23554.59	23558.11	23556.21	1.23745	~	-12018.7124
6.287968966	23520.03	23523.56	23521.66	1.238163	~	-12018.7124
7.126364829	23485.48	23489.01	23487.11	1.237928	~	-12018.7124
7.964760691	23450.93	23454.45	23452.56	1.236762	~	-12018.7124
8.803156553	23416.38	23419.89	23418	1.234631	~	-12018.7124
9.641552415	23381.82	23385.33	23383.45	1.231616	~	-12018.7124
10.47994828	23347.27	23350.77	23348.89	1.227752	~	-12018.7124
11.31834414	23312.72	23316.21	23314.34	1.223032	~	-12018.7124
12.15674	23277.66	23281.15	23279.28	1.217273	~	-12018.7124
12.99513586	23025.85	23029.35	23027.48	1.218037	~	-12018.7124
13.41433379	1514.542	1515.521	1514.981	0.374735	~	-12018.7124

Dari tabel 4.6 diatas dapat diketahui *effective tension* pada setiap titik pada model *riser*. Untuk nilai *top tension* dapat dilihat pada *arclength* = 0,0 (Penghitungan titik 0 berada pada ujung atas hingga berakhir pada ujung bawah model *riser*). Nilai *mean effective tension* pada *arclength* 0,0 ini yang nantinya akan digunakan untuk dianalisa dan divalidasi dengan 2 metode yang lainnya, yakni metode eksperimen dan metode manual.

Tabel 4.7 : Hasil *output running mean effective tension orcalex 9.2a* untuk setiap variasi *initial tension* (Tint) dan kecepatan arus (U)..

Initial Tension (N)	U (m/s)	Vt (m/s)	$\tau_{mean}$ (N)
810	0.05	2.75	803.79
	0.1	5.49	805.12
	0.15	8.24	807.33
	0.2	10.99	810.43
	0.25	13.74	814.42
	0.3	16.48	820.04
	0.35	19.23	827.20
	0.4	21.65	831.83

Initial Tension (N)	U (m/s)	Vt (m/s)	$\tau_{mean}$ (N)
1175	0.05	1.92	1096.39
	0.1	3.84	1111.544
	0.15	5.76	1171.524
	0.2	7.68	1174.649
	0.25	9.60	1178.673
	0.3	11.52	1183.654
	0.35	13.44	1192.078
	0.4	15.36	1197.686

Tabel 4.7 : Hasil *output running mean effective tension orcalex 9.2a* untuk setiap variasi *initial tension* (Tint) dan kecepatan arus (U). (lanjutan)

Initial Tension (N)	U (m/s)	Vt (m/s)	$\tau_{mean}$ (N)
810	0.45	23.99	839.31
	0.5	25.88	847.75
	0.55	27.28	857.22
	0.6	28.96	873.55
	0.65	30.95	893.18
	0.7	32.47	952.38
	0.75	34.79	999.72
	0.8	37.11	1048.69
	0.85	39.42	1129.36
	0.9	41.74	1188.13
	0.95	44.06	1235.18
	1	46.38	1335.43

Initial Tension (N)	U (m/s)	Vt (m/s)	$\tau_{mean}$ (N)
1175	0.45	17.28	1203.821
	0.5	19.20	1212.316
	0.55	21.12	1221.762
	0.6	22.56	1238.18
	0.65	24.44	1253.028
	0.7	26.04	1310.298
	0.75	27.90	1349.24
	0.8	29.46	1402.945
	0.85	30.98	1458.298
	0.9	32.47	1472.954
	0.95	33.93	1490.644
	1	35.71	1559.743

Initial Tension (N)	U (m/s)	Vt (m/s)	$\tau_{mean}$ (N)
1538	0.05	2.23	1530.913
	0.1	4.46	1532.245
	0.15	6.70	1534.464
	0.2	8.93	1537.582
	0.25	11.16	1541.583

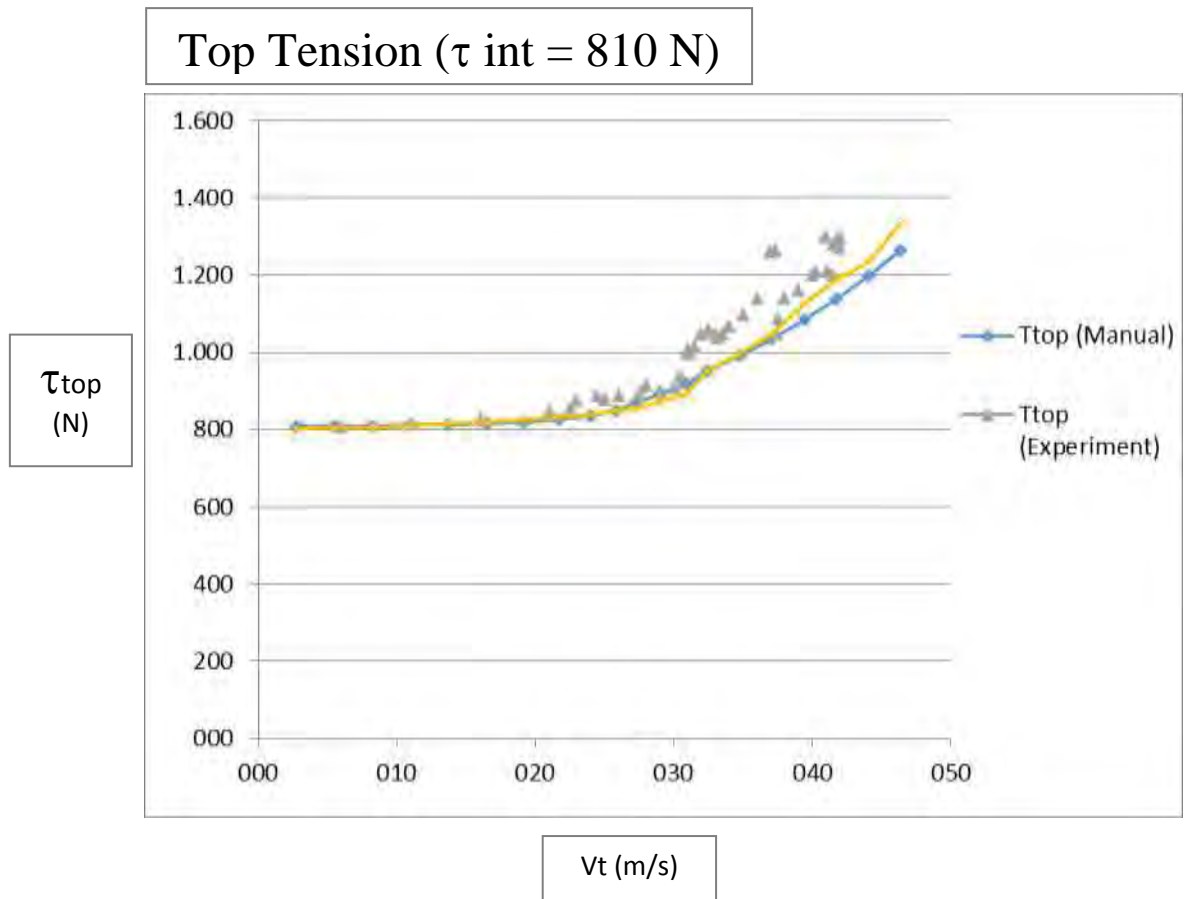
Initial Tension (N)	U (m/s)	Vt (m/s)	$\tau_{mean}$ (N)
1922	0.05	1.72	1915.017
	0.1	3.43	1916.325
	0.15	5.15	1918.506
	0.2	6.87	1921.691
	0.25	8.59	1925.515

0.3	13.39	1546.55
0.35	15.63	1555.881
0.4	17.86	1565.171
0.45	20.09	1567.299
0.5	22.32	1575.453
0.55	24.25	1585.008
0.6	26.13	1590.429
0.65	27.64	1602.922
0.7	29.07	1614.332
0.75	30.79	1637.165
0.8	32.47	1644.257
0.85	34.11	1670.966
0.9	35.71	1689.318
0.95	37.28	1760.302
1	38.40	1865.071

0.3	10.30	1925.356
0.35	12.02	1927.075
0.4	13.35	1932.153
0.45	14.48	1941.681
0.5	16.09	1948.948
0.55	17.70	1955.188
0.6	19.31	1968.579
0.65	20.91	1977.579
0.7	22.52	1989.579
0.75	23.92	2004.579
0.8	25.28	2027.579
0.85	26.63	2050.579
0.9	27.95	2082.43
0.95	29.25	2145.716
1	30.53	2203.146

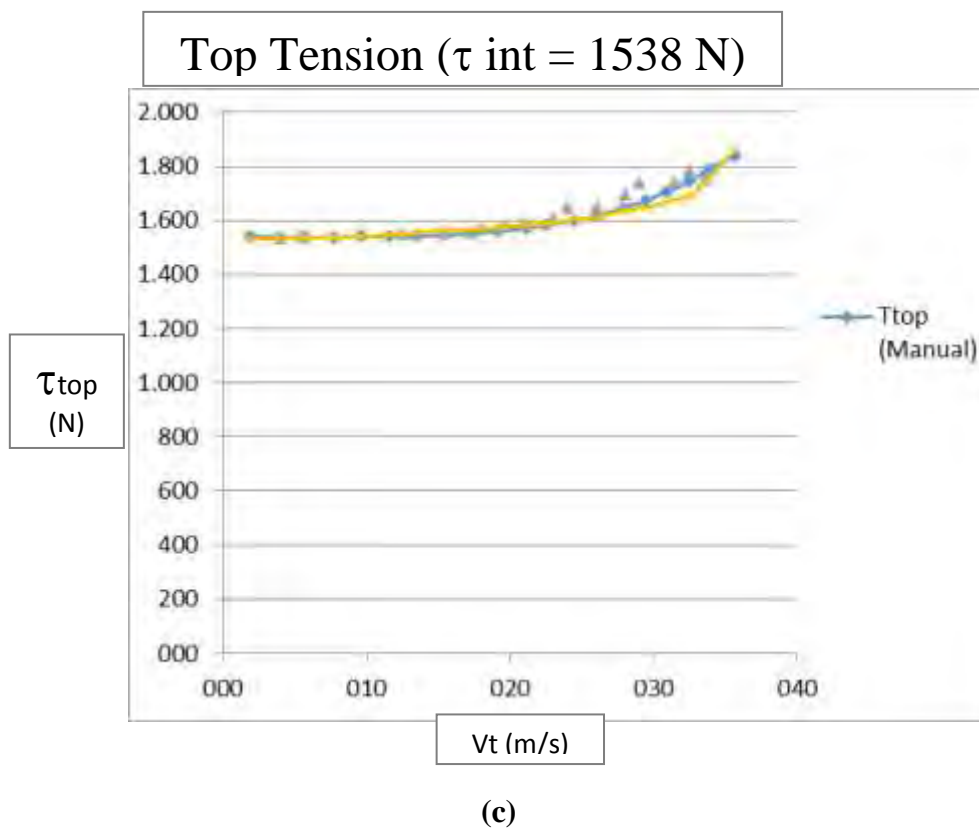
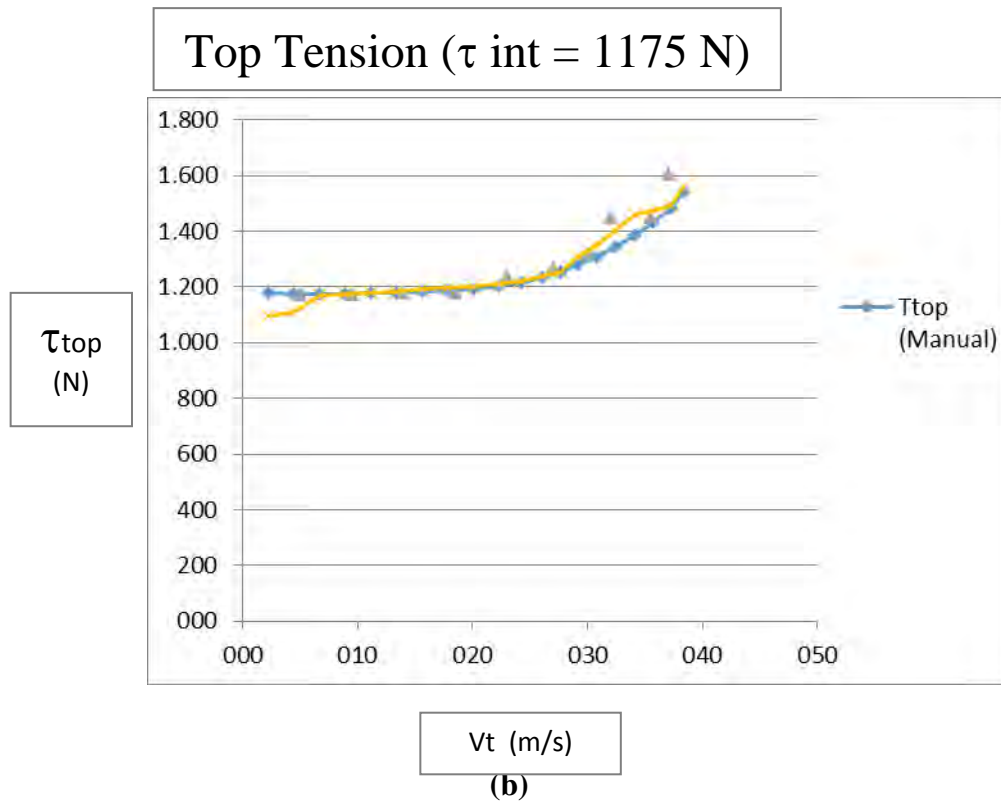
Tabel 4.7 merupakan hasil dari *running orcaflex 9.2a* pada setiap variasi *initial tension* dan kecepatan arus yang seluruhnya berjumlah 80 variasi. Hasil yang disatukan dalam tabel 4.7 adalah nilai *mean top tension* sesuai dengan data yang akan digunakan validasi nantinya. Untuk melakukan validasi dari hasil *running orcaflex 9.2a* ini kemudian dibandingkan hasil penghitungan manual sebelumnya dan hasil eksperimen milik Huarte. Didapatkan hasil berupa grafik pada gambar 4.8 dibawah ini.



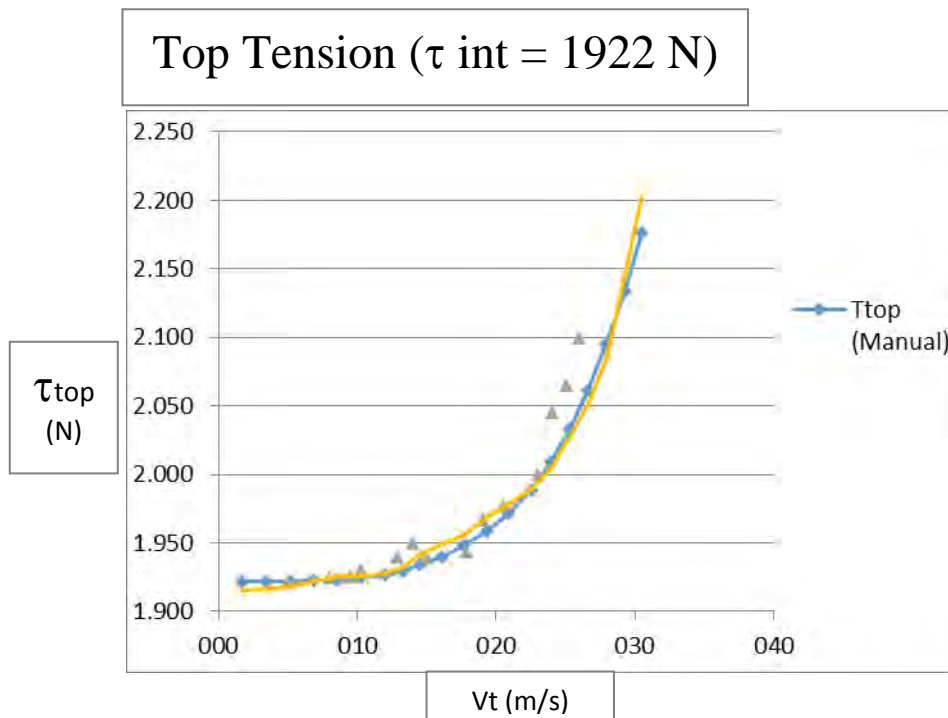


**(a)**

Gambar 4.8 : Grafik perbandingan antara hasil penghitungan *mean top tension* manual, eksperimen dan *software orcaflex 9.2a*.



Gambar 4.8 : Grafik perbandingan antara hasil penghitungan *mean top tension* manual, eksperimen dan *software orcaflex 9.2a*.(lanjutan 1)



(d)

Gambar 4.8 : Grafik perbandingan antara hasil penghitungan *mean top tension* manual, eksperimen dan *software orcaflex 9.2a*. (lanjutan 2)

Grafik pada gambar 4.8 menggambarkan perbandingan antara nilai *mean top tension* dengan *reduced velocity* ( $V_t$ ) untuk setiap variasi *initial tension* ( $\tau_{int}$ ) dan kecepatan arus ( $u$ ). Dapat dilihat bahwa nilai *mean top tension* yang didapatkan dari penghitungan menggunakan *software orcaflex 9.2a* memiliki hasil yang mendekati hasil dari eksperimen milik Huarte pada tahun 2006 dan hasil penghitungan manual menggunakan persamaan *mean top tension* pada jurnal Gu, et al. begitupula dengan trend yang dihasilkan dari penghitungan menggunakan *software orcaflex 9.2a* telah menunjukkan kesamaan meski tidak sama 100%. Grafik tersebut memberikan nilai bahwa besarnya nilai *top tension* dengan menggunakan metode eksperimen cenderung memiliki nilai yang lebih besar dari metode manual dan *software orcaflex 9.2a*. sedangkan metode *software orcaflex 9.2a* nilai yang dihasilkan cenderung berada dibawah metode penghitungan eksperimen. Ada beberapa faktor yang dapat menyebabkan nilai penghitungan *top tension* dengan menggunakan *software* memiliki nilai yang lebih rendah dari pada menggunakan metode eksperimen, diantaranya:

- a) Penghitungan *top tension* dengan metode eksperimen yang dilakukan pada *the delta flume* di *Delft hydraulics lab* kondisinya tidak benar-benar kedap terhadap beban luar khususnya angin. Meskipun pengaruhnya tidak terlalu besar tetapi akan cukup berpengaruh pada meningkatnya nilai *top tension*.
- b) Pada pengujian dengan menggunakan metode eksperimen, Nilai *top tension* yang dihasilkan merupakan murni hasil *output* eksperimen. Sedangkan analisa yang dilakukan dengan menggunakan penghitungan manual dan *software Orcaflex 9.2a* adalah nilai rata-rata tegangan pada bagian ujung atas *riser* (*mean top tension*).
- c) Besarnya nilai frekuensi natural ( $f_n$ ) pada model eksperimen tidak konstan pada setiap perubahan nilai *top tension*. Perubahan frekuensi natural ( $f_n$ ) tersebut sangat mempengaruhi bentuk dari grafik perbandingan antara *top tension* dan *reduced velocity* ( $V_t$ ).
- d) Pada model *long riser* yang digunakan untuk *running software orcaflex 9.2a* menggunakan tipe tumpuan *anchored*. Dimana tipe tumpuan *anchored* tidak seperti tumpuan pin sempurna, ada bagian yang dari model *long riser* yang terbenam pada *seabed*. hal tersebut akan sedikit mengurangi *tension* yang didapat oleh model *long riser* maka dari itu hasil yang didapat pada saat menggunakan *software orcaflex 9.2a* nilainya lebih kecil dibandingkan dengan metode eksperimen.

#### 4.7 Analisa getaran pada *riser*

Setiap jenis *riser* memiliki elastisitas yang berbeda-beda. Elastisitas berpengaruh pada getaran yang akan terjadi pada bangunan (*riser*) tersebut. getaran pada struktur sangat erat kaitannya dengan frekuensi natural ( $f_n$ ) dan Periode natural ( $T_{pn}$ ). Periode natural sendiri adalah waktu yang dibutuhkan oleh sebuah struktur untuk melakukan 1 getaran penuh sedangkan frekuensi natural adalah frekuensi dimana struktur tersebut ikut bergetar akibat getaran lain lebih gampangya getaran yang dilakukan oleh struktur dalam waktu 1 detik. Dari persamaan 2.23 kita dapat mengetahui besarnya periode natural ( $T_{pn}$ ) suatu struktur dan frekuensi naturalnya. Berikut contohnya penghitunganya untuk  $T_{int} = 810 \text{ N}$ ,  $U = 0,05 \text{ m/s}$  dan mode 1.

$$T_{pn} = \frac{2\pi}{fn} = \frac{2L/n}{\sqrt{\left\{\frac{T}{m} + \left[\left(\frac{n\pi}{L}\right)^2 \frac{EI}{m}\right]\right\}}}$$

$$T_{pn} = \frac{2L/n}{\sqrt{\left\{\frac{T}{m} + \left[\left(\frac{n\pi}{L}\right)^2 \frac{EI}{m}\right]\right\}}}$$

$$T_{pn} = \frac{2 \times 13.12/1}{\sqrt{\left\{\frac{810,00419}{24.2064} + \left[\left(\frac{1 \times 3.14}{13.12}\right)^2 \frac{845859.87 \times 0.0000353}{24.2064}\right]\right\}}}$$

$$T_{pn} = 9,062687 \text{ s}$$

Jika nilai periode natural sudah didapatkan maka nilai frekuensi natural juga dapat diketahui dengan persamaan diatas

$$T_{pn} = \frac{2\pi}{fn}$$

$$fn = \frac{2\pi}{T_{pn}}$$

$$fn = \frac{2 \times 3,14}{9,062687}$$

$$fn = 0,6929512 \text{ Hz}$$

Hasil tersebut mendekati dengan frekuensi natural yang awalnya kita pakai dalam penghitungan *top tension*. Dari persamaan diatas saya coba memvariasikan nilai dari Inersia (I) untuk mengetahui pengaruhnya pada setiap mode.

Tabel 4.8 : Nilai periode natural (Tpn) dan frekuensi natural (fn) dengan variasi penurunan nilai Inersia (I)

I (m <sup>4</sup> )	Tp (Mode 1) (s)	Tp (Mode 2) (s)	Tp (Mode 3) (s)	fn (Mode 1) (Hz)	fn (Mode 2) (Hz)	fn (Mode 3) (Hz)
0.00003533	9.062687	4.517080	2.995735	0.692951244	1.390278789	2.096313253
0.00002061	9.066670	4.524987	3.007451	0.692646788	1.387849215	2.08814728
0.00000790	9.070114	4.531848	3.017676	0.692383833	1.385748256	2.08107155
0.00000393	9.071191	4.534000	3.020896	0.692301575	1.385090545	2.078853733
0.00000177	9.071777	4.535170	3.022649	0.692256888	1.38473314	2.077648001
0.00000083	9.072030	4.535675	3.023407	0.692237591	1.384578777	2.077127127

Tabel 4.8 merupakan hasil variasi nilai dari Inersia (I), dapat dilihat pada tabel tersebut bahwa semakin kecil nilai Inersia (I) maka akan mengakibatkan nilai dari periode naturalnya semakin besar, sedangkan pertambahan jumlah mode akan berdampak semakin turunnya nilai dari periode naturalnya. Pengaruh untuk frekuensi natural adalah semakin kecil nilai dari inersia maka semakin kecil nilai dari frekuensi naturalnya dan setiap pertambahan mode akan mengakibatkan nilai frekuensi naturalnya semakin besar. Dengan kata lain mode paling elatis adalah mode 1 dan semakin kecil nilai Inersia (I) maka akan mengakibatkan struktur semakin elatis. Perlakuan yang sama coba dilakukan pada persamaan 2.21 penghitungan *mean top tension*

Tabel 4.9 : Nilai *mean top tension* dengan variasi penurunan nilai Inersia (I)

Diameter (m)	Inersia (m <sup>4</sup> )	Ac (m <sup>2</sup> )	U (m/s)	Tmean (N)	Tegangan (N/m <sup>2</sup> )
0.028	0.00003533	0.002261	0.05	810.0649	358308.9727
0.025	0.00002752	0.001762	0.05	810.0406	459847.9862
0.022	0.00002061	0.001319	0.05	810.0237	614212.6963
0.02	0.00001649	0.001055	0.05	810.0157	767758.3152
0.017	0.00001104	0.000707	0.05	810.0077	1146507.645
0.015	0.00000790	0.000506	0.05	810.0043	1602255.559
0.012	0.00000393	0.000251	0.05	810.0014	3224527.726
0.009	0.00000083	5.34E-05	0.05	810.0002	15174225.62

Dengan penurunan nilai Inersia (I) yang diikuti dengan penurunan diameter struktur didapatkan nilai *mean top tension* yang semakin mengecil seiring dengan mengecilnya nilai dari Inersia (I), jika ditelaah dengan menggunakan persamaan Modulus young (E) di bawah ini, dimana  $\sigma$  merupakan tegangan sedangkan  $\varepsilon$  merupakan regangan.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (4.2)$$

Dapat diketahui jika nilai modulus elastisitas (E) yang kita gunakan tetap. Sedangkan struktur *riser* dengan adanya penurunan nilai Inersia (I) struktur semakin elatis, dengan kata lain Regangan ( $\varepsilon$ ) akan semakin besar. Jika dilihat dari persamaan (4.2) dengan nilai regangan yang semakin tinggi ( $\varepsilon$ ) untuk menghasilkan nilai modulus young (E) yang tetap

maka nilai dari tegangan ( $\sigma$ ) akan semakin besar pula. Pernyataan ini selaras dengan hasil percobaan pada tabel 4.9

Dapat ditarik kesimpulan inersia (I) yang semakin kecil selaras dengan diameter yang semakin kecil dan *bending stiffness* akan semakin kecil juga, Tegangan yang semakin besar dan struktur akan mudah bergetar pada mode yang lebih kecil, Dengan kata lain struktur akan semakin elastis dengan adanya penurunan nilai Inersia (I). Pada akhirnya dengan semakin kecil nilai dari *bending stiffness* maka pada akhirnya pengaruh dari *bending stiffness* (EI) akan hilang karena sudah tidak terlalu berpengaruh pada struktur tersebut.

## BAB 5

### PENUTUP

#### 5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan yang nantinya akan menjawab rumusan masalah di atas, Berikut adalah kesimpulan yang dapat diambil dari pengerjaan di atas:

- a) Metode penghitungan *top tension* dengan menggunakan *software Orcaflex 9.2a* yang diaplikasikan pada *long riser* yang memiliki sifat fleksibel akibat *Vortex-induced vibration* (VIV). Metode penghitungan dengan menggunakan *software orcaflex 9.2a* tersebut telah divalidasi dengan menggunakan 2 pembandingan. Yang pertama yaitu hasil penghitungan manual dengan rumus yang ada pada jurnal “*Analytical solution of mean top tension of long flexible riser in modelling vortex-induced vibration*” oleh Jijun Gu et al. Dan yang kedua adalah data hasil eksperimen yang dilakukan oleh Huarte FJH pada tahun 2006. Dari ketiga hasil besar nilai *top tension* pada bagian ujung *long riser* yang memiliki sifat fleksibel ini menunjukkan adanya kesamaan trend yang dihasilkan oleh ketiga metode tersebut. maka dapat dipastikan bahwa penghitungan besarnya nilai *top tension* dengan menggunakan *software orcaflex 9.2a* terverifikasi. *Tension* pada ujung atas *long riser* yang bersifat fleksibel akibat *Vortex-induced vibration* (VIV) pada setiap variasi *initial tension* (810 N, 1172 N, 1538 N dan 1922 N) dengan kecepatan arus (U) antara 0.05 m/s sampai 1 m/s adalah sebagai berikut (Nilai yang diambil adalah nilai *mean top tension*) :
- Untuk *initial tension* 810 N nilai *top tension* adalah antara 810,00 N sampai 1263,04 N (Manual) dan 803,79N sampai 1335,43 N (Orcaflex 9.2a)
- Untuk *initial tension* 1172 N nilai *top tension* adalah antara 1176,98 N sampai 1540,97 N dan 1096,39 N sampai 1559,743 N (Orcaflex 9.2a)
- Untuk *initial tension* 1538 N nilai *top tension* adalah antara 1539,99 N sampai 1841,22N dan 1530,91 N sampai 1865,071 N (Orcaflex 9.2a)



- Untuk *initial tension* 1922 N nilai *top tension* adalah antara 1922,002 N sampai 2176,65 N dan 1915,017N sampai 12203,15 N (Orcaflex 9.2a)

Besarnya nilai *top tension* dengan menggunakan *software orcaflex 9.2a* cenderung lebih kecil dibandingkan dengan nilai *top tension* dengan menggunakan metode eksperimen. Beberapa hal yang mempengaruhi hal tersebut adalah nilai frekuensi natural ( $f_n$ ) pada model eksperimen yang tidak konstan perubahannya setiap perubahan *mean top tension*, lingkuan pengujian eksperiment dan model *long riser* pada *software orcaflex 9.2a*.

- Berdasarkan hasil analisa diatas dapat diketahui hubungan antara besarnya nilai *tension* pada bagian ujung atas *long riser* yang bersifat fleksible dengan *reduced velocity* ( $V_t$ ). Pada setiap variasi percobaan yang dilakukan memberikan pengertian yang sama, yaitu semakin besar nilai *reduced velocity* ( $V_t$ ) maka semakin besar pula nilai *top tension* yang terjadi pada *riser*. Hal tersebut sesuai dengan pengertian *reduced velocity* ( $V_t$ ). Jika ditelaah ulang dari rumus *reduced velocity* ( $V_t$ ) pada persamaan 2.2 yakni kecepatan arus ( $U$ ) dibandingkan dengan frekuensi natural ( $f_n$ ) benda dan diameter striktur ( $D$ ). Dalam persamaan tersebut mengandung komponen frekuensi natural ( $f_n$ ) yang nilainya berbanding terbalik dengan besarnya *reduced velocity* ( $V_t$ ). Frekuensi natural atau dapat dikatakan frekuensi dimana benda berosilasi akibat sistem atau benda itu terganggu, maka jika ketahanan benda untuk berosilasi semakin besar maka *tension* yang dihasilkan akan semakin besar. Hal tersebut sesuai dengan hasil analisa.
- Inersia yang semakin kecil maka diameter dan *bending stiffness* akan semakin kecil juga, struktur akan mudah bergetar pada mode yang lebih kecil (lebih elastis), Dengan kata lain struktur akan semakin elastis dengan adanya penurunan nilai Inersia ( $I$ ). Pada akhirnya dengan semakin kecil nilai dari *bending stiffness* maka pada akhirnya pengaruh dari *bending stiffness* ( $EI$ ) akan hilang karena sudah tidak terlalu berpengaruh pada struktur tersebut

## 5.2 Saran

Dalam tugas akhir ini penulis menyadari masih adanya kekurangan yang perlu dilengkapi untuk menambahkan ilmu dikemudian hari. Untuk itu dalam penelitian selanjutnya diharapkan mempertimbangkan hal-hal berikut:

1. Analisa selanjutnya dilakukan dengan menggunakan kondisi arus unsteady. karena pada kejadian sebenarnya arus dalam kondisi unsteady.
2. Analisa *top tension* kritis pada *long riser* yang bersifat fleksibel. Pada kecepatan arus berapa dan *reduced velocity* ( $V_t$ ) berapakah long riser mengalami kelelahan (*fatigue*).
3. Analisa besarnya tegangan yang terjadi pada setiap mode getaran akibat *Vortex-induced vibration* (VIV).



## DAFTAR PUSTAKA

- Bai, Y. 2001. *Pipelines and Risers*. Elsevier Ocean Engineering Book Series Vol.3.
- Biro Riset LM FEUI. 2010. *Analisis Industri Minyak dan Gas Indonesia*. Jakarta: LM FEUI Opini.
- Djarmiko, E. B. 2012. *Perilaku dan Operabilitas Bangunan Laut di Atas Gelombang Acak*, ITS Press.
- Herwanzah, F. 2015, *Analisis Tegangan Dinamis Flexible Riser Akibat Gerakan Semi-Submersible pada Kondisi Operasi*, Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan, ITS Surabaya, Indonesia.
- Huarte FJH, 2006. *Multi-Mode Vortex-Induced Vibrations of a Flexible Circular Cylinder*. PhD Thesis. Imperial College London, Prince Consort Road, London SW7 2BY.
- Hoffman, D. 1991, "The Design of Flexible Marine Riser in Deep and Shallow Water". *Offshore Technology Conference*.
- Gao, S. 2008. *Fast Fourier Transform Algorithms with Application*. Clemson University
- Gu, J., Yi, W., Yu, Z., Menglan, D., & Carlos, L. (2013). "Analytical Solution of Mean Top Tension of Long Flexible Riser in Modeling Vortex-Induced Vibration". *Elsevier*.

Karegan, Sadjad. 2013. *Flexible Riser Global Analysis for Very Shallow Water*, Stavanger.

Mathelin, E. de Lencastre. 2005. "Vortex-Induced Vibration and Waves Under Shear Flow with a Wake Oscillator Model". *European Journal of Sound and Vibration* 293. 38-35

Prof. Osgood, B. *Lecture Notes for EE261 The Fourier Transform and its Applications*. Stanford University

Purwati, L. 2008, *Analisis Fatigue Akibat Vortex Induced Vibration pada Riser Tension Leg Platform*, Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan, ITS Surabaya, Indonesia.

Summer, B.M., & Ferdsøe, J. 2006. *Hydrodynamics Around Cylindrical Structures*. World Scientific.

So, R.M.C., Y. Liu., Y.G. Lai. 2013. "Mesh Shape Preservation for Flow-Induced Vibration Problems". *Journal of Fluids and Structures* 18, 287-304

Sparks, C.P., 2001. "Transverse Modal Vibration of Vertical Tensioned Riser". *Oil & Gas Science and Technology-Rev IFP*. Vol.57 (2002), No.1, 71-86

Teachet, A.H. 2005. Lecture : Vortex Induced Vibration

## BIODATA PENULIS



Achmad Afif Wijayanto dilahirkan di Sampang pada tanggal 11 Agustus 1994. Penulis merupakan anak pertama dari pasangan Abd Rachman dan Dewi Septiningsih,SH. Memiliki dua orang Adik yakni Bilqis dan Olvin. Sempat bersekolah 1 tahun di SD Blega 1 kemudian pindah ke SD Gunung Sekar 1 Sampang. Menyelesaikan pendidikan sekolah dasar pada tahun 2006 dan melanjutkan ke SMP Negeri 1 Sampang pada tahun 2006-2009 dan SMA Negeri 1 Sampang pada tahun 2009-2012. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan S-1 pada Jurusan Teknik Kelautan FTK-ITS. Selain berkuliah, penulis juga aktif di beberapa

organisasi kemahasiswaan Penulis sempat menjadi staff departemen media informasi HIMATEKLA 2013-2014. Penulis juga beberapa kali mengikuti kepanitian event besar seperti ITS EXPO dan OCEANO. Sempat menjabat menjadi ketua Forum Mahasiswa Sampang ITS PENS PPNS 2014-2015. Penulis juga tergabung dalam penerima mahasiswa Karya Salemba Empat (KSE) sejak tahun k-2 berkuliah dan aktif menjadi pengurus menjadi pengurus paguyuban KSE-ITS hingga tahun ke-4. Sempat mendapat pelatihan *Leadership* dari Indofood yakni BISMA di akademi militer magelang, wisma pelatihan Indofood dan kertasari. Semasa kuliah penulis pernah melaksanakan kerja praktek di perusahaan fabrikasi *offshore* di PT.Onasis Indonesia , Kutai kartenegara, Kalimantan Timur. Bidang yang dipilih oleh penulis adalah bidang hidrodinamika bangunan lepas pantai sehingga tugas akhir yang diambil berhubungan dengan bidang tersebut.